

燃烧的太阳

主编　张金方　邓先明 ● 编写　邓先明

中国建材工业出版社

TIAN WEN AI HAO ZHE CONG SHU

天文爱好者丛书

责任编辑：王苏娅
封面设计：郭　媛

策划：北京汉洲文化艺术有限责任公司



ISBN 7-80090-816-X
9 787800 908163 >

ISBN 7-80090-816-X/G·144
（共12册）总定价：70.00元

天文爱好者丛书①

燃烧的太阳

编写：邓先明

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

天文爱好者丛书/张金方,邓先明主编. —北京:中国建材工业出版社,1998.10

ISBN 7—80090—816—X

Ⅰ.天… Ⅱ.①张… ②邓… Ⅲ.天文学—普及读物
Ⅳ.P1—49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 29573 号

天文爱好者丛书

中国建材工业出版社出版(北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

中国伊协月华胶印厂印刷

开本 787×1092 毫米　1/32　印张:56　字数:824 千字

1998 年 10 月第 1 版　　1998 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—15000 套　　定价:70.00 元

ISBN7—80090—816—X/G·144

目　录

太阳家族的家谱

太阳家族之谜

扣开太阳之门

太阳家族的家谱

太阳系是以太阳为中心的天体系统。由五花八门、丰富多彩的天体组成，并形成一个“家族”似的系统——在这个家族中太阳是一位“至高无上”的家长，用她那巨大的“引力之手”指挥着它周围的无数个大小不一的家族成员。咱们居住着的地球也是太阳系家族的一个普通成员，与其他 8 个大行星——水星、金星、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星，好像一母所生的九个子女，一同围绕太阳母亲运行。比九大行星小一辈的天体是卫星，它们像是行星的子女，围绕各自的行星运行。与大行星同辈的小行星，算是大行星的小弟弟，形体虽小，但它们“人丁”兴旺，被发现（正式编号）的已有 3000 多颗。还有为数众多、形态奇特的彗

星，它们也都是绕太阳运行的天体。

太阳系家族还有数量极多的流星体，它们有的像一座小山，有的像一颗砂粒。当它们闯入大气时，便与大气摩擦而燃烧，形成流星现象。有些大流星体来不及烧完撞到地面成为陨星。

尽管太阳系内天体品种很多，有些品种数量很大。太阳质量占太阳系总质量的99.8%，它将太阳系里的所有天体牢牢地控制在其周围，使它们不离自己旋转。同时，太阳又作为一颗普通恒星，带领它们绕银河系的中心运动。

如果把我们的太阳系比作一个家庭，那么太阳就是一家之主了。

威严的“家长”

清晨，当你站在茫茫大海的岸边或登上五岳之首的泰山，眺望东方冉冉升起的一轮红日时，一种蓬勃向上的激情会从心底油然而生。人们热爱太阳，崇拜太阳，赞美太阳，把太阳看作是光明和生命的象征。

太阳的身份证

光芒万丈的太阳是自己发光发热的炽热的气体星球。它表面的温度约6000℃，中心温度

高达1500万摄氏度。太阳的半径是696000公里，是地球半径约109倍。它庞大的身躯里可以容纳130万个地球。太阳的质量为1.989×10^{27}吨，是地球质量的332000倍，是九大行星总质量的745倍。知道了太阳的体积和质量，你能不能知道太阳的密度呢？先想一想。太阳的平均密度是每立方厘米1.4克，约为地球密度的1/4。

太阳与我们地球的平均距离约1.5亿公里。这是一段多么遥远的空间距离啊！光的速度每秒约30万公里，从太阳上发出的光到达地球需要8分多钟。这段距离在天文学家们的眼里，认为并不遥远，他们常常把这段距离当作测量太阳系内空间的一把尺子，给它一个名称叫“天文单位”。拿这把尺子去衡量水星与太阳的平均距离是0.387个天文单位。木星与太阳的距离是5.2个天文单位。你看，这是多么大的一把尺子啊！正因为如此，我们从地球上看到的太阳才好似“圆盘”大小。它在天空中对我们的张角大约半度。然而，我们已充分感受到了太阳强烈的光芒和酷热的照射。你可以静静地想一想，地球上的动物、植物和微生物，不都是靠太阳来维持生命吗？埋在地下的煤、石油和水，不也是太阳能量的转换产物吗？地球大气和海洋的活动

现象不也是太阳能量的作用吗？地球上除原子能以外，太阳是一切能量的总源泉。“万物生长靠太阳”确有它深刻的内涵。

说到这里，不知你有没有想到这样的问题：太阳慷慨无私，向我们免费提供如此巨大的能量，整个地球接收的太阳能有多少呢？太阳发射出的能量有多大呢？科学家们设想在地球大气层外放一个测量太阳总辐射能量的仪器，使它垂直太阳的光束，这样测得的辐射不受地球大气影响，在每平方厘米的面积上，每分钟接收的太阳总辐射能量是1.97卡。这个数值叫太阳常数。这个能量足以使1立方厘米的水温升高约2℃。如果将太阳常数乘上以日地平均距离作半径的球面面积，这就得到太阳在每分钟发出的总能量，这个能量约为每分钟2.273×10^{28}焦耳。如果再把这个热辐射能换算成机械功率，约为3.68×10^{23}千瓦。然而，太阳虽然作出如此惊人的奉献，但是地球上仅接收到这些能量的22亿分之一。可是，就是这微乎其微的能量，足以使地球上享受到温暖和充足的阳光。太阳每年送给地球的能量约相当于100亿亿度电的能量。比全世界总发电量要大几十万倍，太阳能取之不尽，用之不竭，又无污染。随着科学技术的

飞速发展，人类必将在利用太阳能方面再创辉煌。

太阳的“内脏”

太阳内部结构可以分三层：太阳中心为热核反应区；核心之外是辐射层；辐射区之外为对流层；对流层之外是太阳大气层，太阳大气层从里向外分为光球、色球和日冕。

（1）热核反应的中心区

太阳中心是热核反应区。它的范围约占整个太阳半径的1/4，约为整个太阳体积的1/64。然而它所包含的太阳质量却足足占整个太阳质量的一半以上。这表明太阳中心区的物质密度大得惊人，每立方厘米可达160克。水的密度为每立方厘米1.4克。太阳在自身强大重力吸引下，太阳中心区处于高密度、高温和高压状态。核物理学理论指出，在这种条件下是物质的热核反应。太阳能量的99%都是从这里产生。关于太阳能的产生方式，我们在下面还有专门介绍。因此，太阳中心区是太阳的热核反应区，是太阳巨大能量的发祥地，是太阳充满活力的心脏。

（2）辐射层

太阳中心产生的能量要不停地向外传输出

去，这样它才能维持自身结构的平衡。太阳中心产生的能量是如何传播到外层空间去的呢？我们知道，热的传播方式有传导、对流和辐射三种方式。生活中使用的保温瓶的制造原理是断绝这三种热的传播，保持瓶内外的热量不能交换传递。太阳中心产生的能量要不断地传递出去，主要是靠辐射形式。太阳中心区之外就是辐射层。辐射层的温度、密度和压力都是从内向外递减。辐射层的范围是从热核中心区顶部的0.25个太阳半径向外到0.86个太阳半径处。从体积上说，辐射层占整个太阳体积绝大部分。从太阳内部传出能量，主要是通过辐射形式，但是这不是唯一的途径，还有对流的过程。对流现象主要发生在辐射层之外，即从0.86个太阳半径向外处，到达太阳大气的底部，这一区间叫对流层。这一层气体性质变化很大，温度、密度和压力都比辐射层减少，变化很不稳定，形成明显的上下对流运动。这是太阳内部结构的最外层，起着输通内部、主导外部的重要作用。

说到这里，我们谈的太阳内部结构是理论上的推导。但是这个模式是否科学？是否可靠？这个模式是科学的，不是随意臆造的。是以现代核物理学理论作为基础，是经得起检验的。理论

的认识虽然抽象，但它的认识比直观感觉更深刻。当然，理论认识又必须由实际观测来检验。天文学从某种意义上说，它的试验手段就是观测。

（3）光球

我们看到耀眼的太阳就是太阳大气层中的光球发出的强烈的可见光。光球层位于对流层之外，属于太阳大气层中的最低层或最里层。若把整个太阳大气层比作一座楼房，那么光球层就是第一层楼。光球发出的光子向外传播的阻力很小，所以可见光很强，因此而得名光球。我们说太阳表面平均温度是6000℃，指的就是这一层。太阳光球层是太阳上温度最低的一层，从光球层向里，温度逐渐增加；到太阳中心达1500万度。从光球向外，大气层的温度又逐渐升高到百万度。这一层的厚度约500公里。这与约70万公里的太阳半径相比，好似人的皮肤和肌肉之比。但是，不可小看太阳这层“皮肤”，我们接收到的太阳能量基本上是从光球发出的；我们进行一系列的白光观测，是观测光球层的活动，得到的太阳光谱，也是光球层的光谱。

太阳光谱是连续光谱。这是1666年年仅24岁的牛顿最早发现的。他用三棱镜将日光分解

为七色光带，并对七种彩色的光带给予正确的解释。他认为这是白光中各色光线通过玻璃时产生不同的折射形成的。这一发现成为光谱学的分析基础，也开辟了研究太阳的新途径。研究太阳连续光谱的主要目的是测量连续光谱的能量分布和上面介绍过的太阳常数。同时，在太阳连续光谱背景上又出现许多暗线，已知有数万条暗线。这些暗线是怎么产生的呢？它们说明了什么呢？我们知道，从太阳光球辐射出的光要经过太阳大气层和行星际空间才能到达地球。天文学家们对这数万条暗线要一一进行证认，分析出哪些是来自太阳，哪些是存在于行星际空间，哪些是属于地球大气层。从太阳来说，太阳大气可能吸收某些特定能量的光子，从而被激发和电离，使得太阳光谱出现对应的吸收线，即暗线。天文学家们从这些吸收线中了解太阳光球层的许多信息。如温度、密度、压力、化学成分，磁场和速度场等。现在已知太阳上有94种稳定和放射性化学元素，在这些元素中氢的含量最高。

光球层中的气体电离程度不高，主要是中性原子。光球层以内的气体几乎是不透明的，光球层以外的气体则几乎是透明的。我们对光球

层的了解远比对其他层了解得更具体、更详细。

临边昏暗。太阳光球的万丈光芒虽然给人留下了极深刻的印象，但是，如果通过天文望远镜给太阳光球照相，就会发现日面中心最亮，越往日面边缘越暗。这是什么缘故呢？首先，这不是照相技术的问题，也不是感光材料的毛病，更不是光球自身有什么“缺憾”，而是观测者看到光球整体的投影现象。我们看到日面中央的光和热是来自光球最深层，这里的温度高、辐射强。相反，日面边缘的光和热是反应光球层的辐射，这里温度低，辐射能量也少，所以显得比中央要暗些。日面的这种现象叫临边昏暗。这是我们通过天文望远镜观测太阳光球时的一大特征。

太阳黑子。通过天文望远镜观测太阳光球的时候，在光球上经常可以看到许多黑色的斑点，叫太阳黑子。当太阳上出现大黑子群时，在太阳位于东西方地平附近，有时用眼睛也能直接看到。太阳黑子在日面上的大小多少、位置和形态等，每日都不一样。黑子是光球层活动的重要标志。我国古代有世界上最早的黑子纪事。据不完全统计，我国古代史书中有100多次太阳黑子记载。其中在《汉书·五行志》中载有：汉

成帝河平元年，“三月己未，日出黄，有黑气，大如钱，居日中央”。这是指公元前28年5月10日见到的大黑子群。我们祖先用不足20个汉字记载了黑子出现的年、月、日和时刻，天气状况、黑子的形态和在日面上的位置，真是非常珍贵的科学史料。美国著名太阳物理学家海耳在著作中称赞中国古代关于太阳黑子的记载，他说：“中国古人测天之精勤，至可惊人，黑子之观测，远在西方人之前约2000年。历史记载不绝，且相传颇确，自可徵信。独怪欧西学者，在此长期中，何以竟无一人注意及之。直至十七世纪应用天文望远镜之后，方得发见，不亦奇哉。”古代的太阳黑子记录对我们今日研究太阳活动规律和日地关系有重要的现实意义。

那么，太阳黑子是怎样形成的呢？前面已经介绍，光球的高温气体处于剧烈的运动之中。太阳黑子是光球上物质剧烈运动形成局部强磁场的区域。黑子表面的温度在4500℃左右，大多数黑子是成群出现的，成双出现的较多，靠日面西边的叫前导黑子，在东边的叫后随黑子。地球不停地从西往东自转着，那么太阳有没有自转呢？太阳有自转，自转运动的方向也是由西往东。我们观测太阳黑子时就会发现，日面上的黑

子每天都有规律地从东向西移动大约13度，它们好像列队齐步走一样。这是为什么呢？这是黑子在日面上移动吗？不是，这是太阳自转造成的。既然太阳和地球都有自转运动，那么太阳和地球自转的形态完全一样吗？前面已经讲过，太阳是一个炽热的气体星球，地球是固态的球。太阳这个气体星球，在自转的过程中，日面上不同的纬度自转的快慢是不一样的。太阳赤道区域自转一周约27个地球日，两极区自转一周约31个地球日。地球自转时就不会出现这种情况。

长期观测太阳黑子就会发现，有的年份黑子多，有的年份黑子少，有的甚至几天、几十天日面上连一个小黑子也找不到。可以说日面上干干净净。我国对太阳黑子的联合观测，从60年代到70年代，连续每日定时观测太阳黑子14年之久，对黑子这种“戏剧”性的变化深有体会。这种变化的原因是什么呢？天文学家们早已统计得很清楚。太阳黑子从最多（或最少）的年份到下一次最多（或最少）的年份，大约相隔11年。也就是说，太阳黑子有平均11年的活动周期。黑子是光球上的一种活动现象。这11年的活动周期正是整个太阳的活动周期。从而使

我们步入到认识太阳的物理本质。天文学家们把太阳黑子最多的年份，也就是太阳活动最剧烈的年份定名为“太阳活动峰年”。而把太阳黑子最少的年份，也就是太阳活动最平静的年份定为“太阳活动宁静年”。

米粒组织。当用天文望远镜观测黑子时，常常会发现日面上有许许多多似隐似现的米粒状的组织。它们不像黑子那么明显，但是数目多得惊人，几乎是覆盖整个日面，是观测黑子时的“副产品”。特别是在地球大气透明度好的情况下，米粒组织更清晰可辨。米粒组织是如何产生的呢？我们知道，光球底部的温度很高，上部温度低，而且低很多。光球上下温差大，极容易产生上下对流。这种对流形式便把太阳内部的热量传递到太阳表面。类似我们烧开水时，壶底部的水被加热后，通过上下对流将热传到水的上部。米粒组织正是这种炽热的气浪迅速上升和冷的部分下沉的运动。米粒组织的形态很不规则。每个米粒组织直径一般在1000公里左右。这是多么大的沸腾气流啊！它们的温度比光球温度要高一点。每个米粒组织存在的寿命约为几分钟到十几分钟。

光斑。通过天文望远镜观测黑子时，经常会

发现在日面边缘的黑子群周围伴生着比光球还要明亮的呈纤维状结构的光斑。它们大约比光球的亮度要高出10%。光谱观测表明，光斑的温度比光球温度平均高约100℃。它们和黑子形成鲜明的亮度对比。光斑和米粒组织绝然不一样。光斑出现的数量远比米粒组织少，比米粒组织亮。存在的时间一般在几天到十几天。那么，光斑是怎样形成的呢？它们很可能是光球层顶部的炽热气团。光斑一般长约50000公里，宽约5000～10000公里。

（4）色球

如果把太阳大气层比作一座楼房，那么色球就是光球之上的二楼，也就是太阳大气中的第二层。平时由于地球大气把强烈的光球的光散射开，色球被淹没在蓝天之中，我们是看不到这一层的。只有在日全食的时候，才有机会直接饱览它的姿彩。当然，天文工作者每天可以通过色球望远镜观测这一层。我国古代记录的日全食特征时，载有“三焰食日”。“三焰”就指日全食的时候，在日面周围看到三个红色的“火焰”状的现象。这红色的火焰就是色球层的喷发物，叫日珥。古人还以为就是这三个火焰把太阳吃掉了，从而发生日全食。直到18世纪，欧洲的

天文学家还在探讨日全食见到太阳周围薄薄一层玫瑰色的光辉到底是何物。因为只有当月亮把日面全遮住时才能见到它。有人认为它可能是月亮上的大气层，有人认为可能是太阳上的大气层，还有人认为可能是一种特殊现象等。1842年7月8日，在欧洲发生日全食，天文学家们事先就决定把观测的注意力都放在这红色的光辉上，企图找出合理的解释。但是，在短短的几分钟内只是观察到了这种昙花一现式的天象，没能给予正确的科学解释。1851年7月28日，在欧洲又发生一次日全食。天文学家们经过仔细的观测研究，确认这红色光芒不是月亮上的现象，而是来自太阳。经历10年得出这个结论是多么艰辛，又是多大的进步啊。1860年7月18日，在欧洲再一次发生日全食时，照相术已经发明，天文学家们使用这种新技术观测日全食，其结果确凿地证明这红色的光辉是太阳外层大气。这个结论为探索太阳物理结构铺平了道路，从而诞生了太阳物理学。自从1892年，美国著名的太阳物理学家海耳发明太阳单色光相技术和1933年法国杰出的天文学家李约发明双折射滤光器后，科学家们成功地制造出色球望远镜，天文工作者随时可观测太阳色球的

活动。

太阳色球是充满磁场的等离子体层，厚度约 2500 公里。其温度，在与光球层顶衔接的部分为 4500℃，到外层达几万摄氏度，密度随高度的增加而减小，整个色球层的结构不均匀，也没有明显的边界。由于磁场的不稳定性，色球层经常产生爆发活动。等离子体是什么物态？大家都知道物质有三态：固态、液态和气态。这是指在一定的温度、压力条件下，物质所处的相对稳定的状态。在日常生活中，大家接触的物质三态，从物理学角度说，主要是分子原子和原子集团三种聚集状态。当气体中的分子运动加剧，形成高度电离，则由离子和电子的混合集团组成的物质，这种物质称为等离子体物态，属于物质的第四态。闪电和极光就是地球的天然等离子体的辐射现象。天然的等离子体在地球上虽然不多见，但是在广阔的宇宙间却是物质存在的主要形式。因此，我们在认识太阳、恒星和恒星际空间的时候，必须要知道这物质的第四态。

耀斑。原子弹和氢弹为什么具有强大的威力？主要是因为它们可以在短时间内，大量地释放能量。这里要介绍的是在太阳高层大气活动中，在短短的时间内日面局部有大规模的能量

释放现象，几分种内释放的总能量可达到10^{23}～10^{26}焦耳，接近太阳平时1秒钟辐射出的总能量。通过色球望远镜观测这种现象时这种突然发亮的辐射强度和面积迅速增大，达到最大时，能维持几分钟、几小时甚至1天，然后缓慢减小至消失。这种现象就叫耀斑。在日面上增亮的面积超过3亿平方公里的叫耀斑。小于3亿平方公里的叫亚耀斑。我们整个地球的表面积为5.1亿平方公里。你可以想一想耀斑的区域和它释放的能量有多大了。有人作了一个概括性的说明：一个耀斑从产生到消失，它释放的总能量约相当于100亿个百万吨级氢弹爆炸的能量。

日珥与暗条。色球的结构是不均匀的，从色球中不停地向外喷射许多细而明亮的流焰状的火舌，看上去色球边缘成锯齿状。这些火舌是色球层上升的气流。天文学家们给它们起了一个形象的名字，叫针状物。这种针状物在太阳的色球层上经常可见。前面已经介绍过，在日全食的时候见到色球上有巨大的红色喷发物，叫日珥。平时它们也被强烈的光球光芒所淹没，我们是看不到的。同样，天文工作者通过色球望远镜每天都跟踪监视太阳色球上的活动，其中就包括日珥活动。日珥的形态是多姿多彩的。有的如色

球外的浮云有的像喷泉，有的似环形拱桥。有的日珥可以高达几万到几十万公里。它们的底部在色球，而活动已深入到日冕广阔的空间。日珥的精细结构十分复杂，主要由气流组成。日珥出现的次数和抛射的高度都与太阳活动的 11 年周期有密切关系。一般来说，一次日珥活动要经历几小时到几十天。根据日珥的形态和运动特征，把日珥分成三种类型：爆发日珥、宁静日珥和不规则日珥。最为壮观剧烈的是爆发日珥。它的物质以每秒几百公里的速度向外抛射。1995 年 10 月 24 日，我国学者赴泰国观测日全食，北京大学附中的同学就观测到这种爆发日珥。与爆发日珥形成鲜明对比的是宁静日珥。它们犹如色球层的浮云，几天之内都没有多大变化。当代天文学对太阳认识的最大成果之一，就是揭示出太阳的磁场性质。日珥的形态和运动都取决于贯穿日珥，也因外界扰动使等离子体瞬间被激活，从而加强运动或被完全瓦解。

如果你有机会通过色球望远镜来观察太阳的话，你也许一眼就认出日面边缘的日珥，但是会被色球上的一些暗条所迷惑。其实，这些暗条就是日珥，只不过不是处于日面边缘的日珥，而是位于日面上的日珥，它们与观测者的视线平

行，投影在日面上。由于日珥的温度比色球层的温度低，才呈现出各种姿态的暗条状。

（5）日冕

日冕是太阳大气中最外的一层。同样，平时我们是看不到日冕的。然而在日全食时见到日冕蔚为壮观，银白色光芒呈羽毛状，远比色球和日珥更引人注目，向外延伸长达几个太阳半径。一个太阳半径就是约70万公里，几个太阳半径是多么遥远的空间！也就是说，太阳最外层的大气可延伸到几百万公里。同样，日冕的形态也是随太阳整体活动强弱而变化的。日冕中的物质也是等离子体。它的密度比色球层更小，而它的温度反而比色球高，高达上百万度。为什么？现在还是一个未解之谜。自从1931年，法国天文学家李约瑟发明了日冕仪以后，天文学家们也可以在没有日全食的时候进行日冕观测。

冕洞和太阳风。日全食的时候，我们看到美丽柔和而亮度均匀的日冕。这只是从可见光观测到大尺度的宏观日冕。如果通过X射线或远紫外线波段测日冕，就会看到日冕的辐射和亮度不均匀的细节，并存在黑暗区域。在日冕中存在密度小、亮度比周围暗很多的弱辐射区域，叫冕洞。太阳极区常年可以见到冕洞，并向南北方

向延伸。日面低纬度区也可见到小的冕洞。冕洞是太阳上一种比较稳定的物质活动现象。一个冕洞可维持几十天至几个月，甚至1年。为什么会出现冕洞呢？我们知道，日冕中的等离子体以高速不断地向外膨胀扩散，发射出稳定的粒子流，吹向行星际空间。这种现象就叫太阳风。在地球附近，太阳风的风速达每秒450多公里。它们吹遍整个行星际空间。“污染着”整个行星际环境，使所有太阳家族的成员都遭受污染。冕洞就是吹出太阳风的风源。

恒星的代表

每本天文书上都会明白不过地告诉你，太阳系的中心天体——太阳，是银河系里的一颗普普通通的恒星。在难以计数的那么多恒星当中，太阳是离我们最近的一颗，因此，天文学家们往往这样叙述太阳与恒星之间的对比关系：恒星的类型各式各样，但它们都是非常遥远的太阳，毫无例外；近在“咫尺”的太阳则是最普通的恒星，是遥远的恒星的代表。

质量、直径、温度等，是恒星最重要的部分物理要素。由于质量等的不同，恒星的物理特性也就不同，它们的内部结构、演化途径等也都会有很大差异。这些基本要素在恒星物理学的研

究中具有特别重要的意义。

从目前我们所知道的太阳情况来看，无论是它的直径、质量、光度、温度以及光谱类型等各个方面，可说是基本上都处在“比上不足，比下有余”的中等位置上。从太阳在赫罗图上所占位置来看，它是在所谓“主星序”的中段，表明它是颗“黄矮星”，正处在一生中“精力”比较充沛的壮年时期。

太阳的直径约139.2万公里，质量是2000亿亿亿吨，在表达其他恒星的直径和质量等的时候，为简便和便于比较起见，往往说它的直径和质量是多少个太阳直径和质量。

我们且来看看，太阳的一些主要物理要素在恒星中间是怎么个情况。

直径：当前已知的最大恒星，其直径大体上是太阳直径的2000倍，如果这么个庞然大物占据着我们太阳位置的话，不但地球、火星都会被它“吞掉”，就连木星在它“肚子”里转动起来也是绰绰有余；中子星是已知直径最小的恒星，直径约10公里，为太阳的10多万分之一。

质量：恒星的质量大体上都在百分之几个太阳质量到120个太阳质量之间，而多数恒星则在0.1～10个太阳质量之间。以太阳为代表

的黄矮星的质量在0．1～20个太阳质量之间。

光度：恒星的真正亮度——光度（而不是看起来的亮度）相差甚大，约在1/300万到50万倍太阳光度之间；黄矮星的光度约在太阳光度的万分之一到10000倍之间。

正是从这些物理要素等出发，太阳都在毫不显眼、毫无特殊可言的中等地位，称它为普普通通的恒星，并不是没有道理的。

近些年来，观测工具和手段的日益发展以及研究工作的更加深入，使得天文学家们感到一向被认为是普通恒星、黄矮星型恒星中的典型星——太阳，似乎并不普通，也不典型，而是存在着某些与众不同的特色。

黄矮星的质量一般都比较小，而其代表——太阳却不像与它同类型的多数黄矮星那么小。这使人怀疑太阳是否能算是黄矮星的最恰当代表，它代表得了吗？由于质量上的差异，太阳的好些物理性质就会与以它为代表的太阳型恒星存在好多差别，甚至重大差别。除了我们将要在下面讲到的一些差别外，也许还有些更有说服力的特征尚未被发现。有人估计，也许会有那么一天，太阳的太阳型恒星代表的资格将正式被

取消。

恒星的亮度或多或少都会有点变化，对于太阳型恒星来说，这种变化大致是1%～2%，变化周期为几个小时。太阳的情况怎么样呢？精确的观测证实，太阳亮度的变化幅度比0.15%还小，只及应有的1/10，而变化的周期却长了好几十倍。太阳的表现显然与其他太阳型恒星有点格格不入。

恒星的自转速度是个重要的物理量，科学家们实测了好些黄矮星的自转速度，所得到的结果与理论预测是一致的，即：处于"青壮年"时期的恒星，比起"老年"恒星来，其自转速度要大得多。太阳的年龄约50亿年，这类恒星的表面自转速度应该是5公里/秒上下，而太阳只有约2公里/秒，显然是低了不少。

一般情况是这样的：恒星的活动性与其自转速度有着密切关系，自转速度越快，其活动性就越强。所谓恒星的活动性，自然包括星冕、色球、耀斑、黑子以及星风等。太阳在其同类型恒星中，是一颗比较稳定和极其宁静的星球，这与它的自转速度特别低有关。

太阳类型的恒星大气中，都有一层被称为色球层的特殊区域。色球层一般都比较活跃，许

多活动现象都与它有关系，因此，天文学家们很重视对它的研究。色球层的活动与太阳活动一样，有周期性。对太阳来说，活动周期平均是11年多点；而那些太阳型恒星的活动周期要短些，大致为8～10年。为什么它们会短些呢？令人捉摸不透。

这就是说，太阳名义上是黄矮星类型恒星中的典型，而且被看作其代表，但实际上，随着对它认识的深化，越来越发现它与太阳型恒星之间存在重大的差异。它还能算是普通恒星吗？令人怀疑。

太阳周围有个庞大的天体系统，光是已发现了的大行星就有9颗。太阳周围的一定范围内，有个所谓的“生态圈”，意思是说，在太阳生态圈内的行星上，才有条件产生和发展生命。太阳生态圈内有两颗行星，它们就是地球和火星。地球上生命的产生和繁衍、人类文明的建立，决非偶然，而是与太阳提供的条件和地球所拥有的条件分不开的。把这些条件看作是地球和人类所独有的，这并不过分，而太阳所给予的条件应该看成是与它的某些特殊性质有关。

从这个角度看太阳型恒星中的其他恒星，

是否也具备某些特殊性质，而能为其周围的行星提供生命生存和发展所需的环境和条件呢？

许多人认为，并不是只有太阳系内才有生命，并不是只有地球上才有智慧生命，银河系中那些与太阳相似的恒星周围，不仅存在着行星，也存在着处于各种不同发展阶段的生命，包括智慧生命。当然也有持反对观点的，至今仍没有找到地外生命存在的证据，表明包括黄矮星在内的多数恒星的性质只是一般，不像我们太阳那样特殊。这又一次证明太阳并不是一颗普通恒星。

那么，我们的太阳究竟是颗什么样的恒星呢？是颗最普通不过的恒星，还是颗特殊恒星？还是两者兼而有之呢？从目前情况来看，太阳似乎越来越不像是颗普通恒星，表现出越来越多的特殊性，但它究竟会跑得多远？特殊到什么程度？天文学家们正密切注意着这类一时还无法解答的问题，寄希望于将来。

太阳的儿女们

太阳是一颗恒星，在这颗恒星身边诞生了行星世界。这些行星的成员众多，运行活泼，变化万千，使太阳永不寂寞。古人早就发现，在太

阳和月亮经过的天区附近，常有几颗明亮的星星，经过一段时间观察发现它们在众恒星背景上有明显的位置变化，给它们起了有别于恒星的名字，叫行星。中国古代把水星、金星、火星、木星和土星统称为“五星”或“五行”。

行星世界成员的共同特点是：九大行星绕太阳运动的轨道平面基本上都很靠近，叫共面性；都朝同一个方向绕太阳运动，叫同向性；同时，它们的轨道又都是似于圆的椭圆轨道，叫近圆性。真是“家有家规，生活有序”。因此，九大行星绕太阳运动各行其道，非常稳定。九大行星都是近似于球形的天体，本身一般不发可见光，所见行星的亮光是其表面反射太阳光的缘故。如果你通过天文望远镜观察行星，会发现它们都有一定的视面，而恒星就没有视面了。因此，行星有视面不闪烁。恒星是点光源，由于地球大气抖动，引起闪烁的现象。由于行星绕太阳运动，各自有各自的运行周期，我们从地球上看去，它们就出现了相对于太阳的位置变化，有时隐、时现，时进、时退的现象，这叫行星的视运动。眼睛可直接见到的几大行星的亮度和颜色也是不一样的。金星最明亮，木星次之，火星发红，土星有些发黄。这些也可以作为判别行星的

依据。天文学家们还常常以地球轨道来划分行星，把地球轨道以内的水星和金星叫内行星；把地球轨道以外的火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星称为外行星。按行星的质量、体积、结构和化学元素组成，又把水星、金星、地球和火星称为类地行星，而把木星、土星、天王星和海王星称为类木行星；冥王星暂未定。

行星世界是人类最近的地外邻居，也应作为人类的家园。随着空间技术的飞速发展，人类已发射了数以千计的探测器，对行星世界和行星际空间进行探测，获得了丰硕的成果。

太阳家族的小兄弟

在太阳家族中，九大行星各具特色，享有盛名。说起行星世界里还有众多的小兄弟——小行星，人们也许感到陌生。但是，这是太阳之家中一个不可小看的群体。

1801年1月1日的新年之夜，人们都在欢庆进入新的一年。意大利西西里岛的巴勒莫天文台台长皮亚齐正沉浸在自己的乐趣里。当他把天文望远镜对准金牛星座时，突然发现一颗8等星亮度的奇怪天体。皮亚齐以科学家应有的仔细，对这个不速之客进行了多方核实。他决定

第二天再跟踪这个天体的行迹。第二天发现这个陌生的天体从东向西移动了4角分。皮亚齐确定它是太阳系内的天体。但是，皮亚齐不愿冒然地公布此事。在以后的6个星期里，皮亚齐一直监视着这个天体，它在恒星之间不断地改变着位置。这位台长判定它是一颗彗星。可是，就在这个关键时刻，他患病在身，不得不中断观测。等他康复后再行观测时，这个天体在群星间消失得无影无踪了。此时，皮亚齐发现自认为是彗星的消息传到德国柏林天文台。台长波德正在邀请的24位天文学家沿黄道分段搜查在火星和木星之间可能存在的行星。皮亚齐正是被邀请的24位著名的天文学家之一。波德分析了皮亚齐的观测情况以后，认定皮亚齐发现的就是火星和木星之间的尚在寻找的天体。但是，光这样推测还不行，还必须根据观测资料计算出它的轨道才能确定。这时，年仅24岁的德国大学生，即后来鼎鼎大名的大数学家高斯，创立了一种新的数学计算方法。这种方法能根据在不同时间测得的某一天体在天空中的3个精确位置。计算出这个天体的轨道。这位青年大学生根据皮亚齐的观测结果计算出这个无名天体的轨道，恰好在火星和木星轨道之间，正是24位天

文学家要搜寻的行星。知道了它的轨道，就容易在群星之中再把它找到。高斯与皮亚齐通力合作，很快就公布了这位不速之客的轨道数据。这是天文学家和数学家绝妙合作的典范。在发现这一天体一年以后，即 1802 年 1 月 1 日，德国天文学家奥利培尔斯根据计算的位置，果然又找到了这个天体。这个天体就是发现的第一颗小行星。以罗马神话中谷物的保护神命名为谷神星。1802 年发现第二颗小行星，命名为智神星；1804 年又发现第三颗小行星，命名为婚神星；1807 年又发现第四颗小行星，命名为灶神星。这就是到目前已知体积最大的四颗小行星。

小行星的特征是：第一数量多。从 1801 年到 1995 年底，全世界共发现并经国际天文学联合会小行星中心确认，给予正式编号的小行星 6160 颗。据估计，从地球上看去，亮于 21 等星的小行星有约 50 万颗之多；第二范围广。绝大多数小行星都在火星和木星轨道之间绕太阳运动，在这个行星际空间形成一个小行星区，叫小行星带。但是也有少数散漫而孤独的小行星跑出了群体，它们有的轨道半径在火星轨道之内，有的又到了木星轨道之外，还有极少数小行星跑到地球轨道附近，距地球在几十万到几千万

公里之间。这类小行星叫近地小行星；第三体积小。目前已知体积最大的小行星就是谷神星。它的直径约1000公里。一般小行星直径只有1公里到几十公里。估计小行星的总质量仅为地球质量的万分之四；第四形态各异。小行星多呈不规则的形体；第五具有三种物质类型。按小行星的物质组成，可分为碳质小行星、石质小行星和金属小行星。碳质小行星约占小行星总数的76%，石质小行星约占16%，金属小行星约占5%。

近地小行星虽然为数极少，但一直被天文学家们给予特殊的关注和严密的监视。因为它们有可能在“万一”之下撞到地球上来，对人类和地球环境构成危害。目前，国际上正在形成近地小行星联合监视观测网，以便万一出现险情提早预防。说到这里，人们也许会问：有小行星撞击地球的先例吗？目前，我们只知道有陨石落地，还不能确认哪个就是小行星的袭击。但是，地球上也确有些巨大的陨石坑，应是“地外来客”撞击地球的痕迹。1908年6月30日早晨，在俄罗斯西伯利亚通古斯地区发生一次惊人的陨击爆炸事件，产生的爆炸声和冲天的火光在1000公里之外感受也很强烈。科学家们经过多

年现场考察，认为这很可能是地外来的小行星或彗核对地球的撞击引起。1980年，美国物理学家、1968年度诺贝尔物理学奖获得者路易斯·W·阿尔瓦雷斯和他的儿子——地质学家沃尔特·阿尔瓦雷斯共同提出，曾经统治地球长达1.5亿年之久的庞大动物——恐龙，为什么在6500万年前突然灭绝了呢？他们认为，这是由于一颗直径约10公里的小行星撞击地球引起巨大爆炸，产生强烈的核辐射，抛出大量的尘埃，遮天蔽日达数年，形成了核冬天。在这种突然袭击下，恐龙和大量生物灭绝。当然，这只是学说，还有待研究证实。但是，它也提醒我们要注意观测和预防近地小行星的陨击。

预防近地小行星对地球破坏性的陨击，具有重要的现实意义。同时，小行星身居太空，经历了太阳系演化的历史时期，具有丰富的太阳系变迁的信息，对研究太阳系演化有重要的科学价值。随着空间科学的发展，天文学家们不仅在地面上观测小行星，而且利用探测器去观测小行星。1989年，美国发射的“伽利略号”探测器，在飞往木星的途中，于1991年10月29日，近距拍下了加斯帕拉（951号）小行星非常清晰的照片。这是人类第一次见到小行星表面

的情况。这颗小行星是不规则体，为19公里×12公里×11公里，表面布满坑穴。1993年8月28日，“伽利略号”又拍下艾达（241号）小行星的照片。它的表面也有大量的坑穴。这对研究小行星在行星际空间的经历有非常重要的意义。1996年2月17日，美国又发射探测小行星的探测器，它将于1999年2月探测“爱神星”。爱神星是1898年8月13日，由德国天文学家威特发现的小行星。它的国际统一编号为433号。它绕太阳运动的轨道半径为1.46个天文单位，轨道偏心率为0.22，轨道的近日距为1.13个天文单位，绕太阳一周约642个地球日。由此可见，它的轨道有一大半是在火星轨道之内，距地球最近时约2300万公里，属于近地小行星。它的形态也不是球形，而是长约35公里，宽约14公里，高约13公里的不规则体。由于形态不规则，从地球上看去，它的亮度在不断变化，最亮时为6.5等星，是著名的变光小行星。1898年发现爱神星时，当时它是已知的天体中，除月亮之外，最接近地球的天体。1900年和1930～1931年，天文工作者利用它这两次最接近地球的机会对它进行观测，从而求得日地平均距离的精确值。因此，爱神星在天文学家们的心目中

占有特殊的地位。1999年2月，探测器将在爱神星上着陆，我们拭目以待。

我国在小行星的观测和研究方面，有突出的成就和杰出的贡献。1928年，正值中国人民经受各种苦难的年代，一位在美国叶凯士天文台攻读博士的26岁的中国人，于1928年11月22日晚，用口径60厘米的反射望远镜发现一颗小行星。这颗小行星被国际天文学联合会正式编号为1125号。根据发现者提议，1125号小行星被命名为"中华"星。这是中国人发现的第一颗小行星，也是亚洲人发现的第一颗小行星。这位年轻人就是我国现代天文事业的主要奠基人张钰哲先生。解放后，他曾长时间担任中国天文学会理事长和紫金山天文台台长。在他的创建和领导下，紫金山天文台一直从事小行星的观测和研究工作。到目前，已发现并被国际天文学联合会小行星中心正式编号的有120多颗小行星。紫金山天文台已将几十颗小行星用我国省市、地区的名字及古代著名科学家和现代知名人士的名字命名。如：将国际编号为2045号小行星被命名为"北京"，2169号被命名为"台湾"，1802号被命名为"张衡"，2963号被命名为"陈嘉庚"等等。同时，国际天文学联合会为

表彰我国在小行星观测和研究方面所作的突出贡献，特将 2051 号小行星命名为“张，zhang”，即张钰哲先生。1994 年 9 月，又将 3494 号小行星命名为“紫金山天文台星”，以祝贺紫金山天文台建台 60 周年和取得的杰出成就。

行星的卫士们

提到太阳家族，人们自然会想到这个家族的中心天体——光芒万丈的太阳，还有大名鼎鼎的九大行星。对于绕行星运动的卫星，往往被人们忽视，似乎它们都是无足轻重的“小字辈”。其实，这些千姿百态的无名之辈也是太阳家族中的一个“阶层”。它们身上有鲜明的饱经沧桑的太阳系演化烙印，任何关于太阳系的研究，不充分考虑它们的特征是不行的。

如果把大行星比作太阳的儿女，那么卫星就是太阳的孙子辈。太阳家族可谓“三代同堂”。在太阳家族中，我们对“第三代”成员相识最早的就是地球的卫星——月球。月球是和人类关系最密切的卫星，也是人类到达过的唯一的卫星。除月球外，人类最早发现的卫星是 1610 年 1 月，意大利著名天文学家伽利略通过天文望远镜发现的木星的 4 颗卫星。从此，揭开了人类

认识卫星的新篇章。

从 1610 年到 19 世纪末的 290 年间，先后发现的卫星有火星两颗，木星 5 颗，土星 9 颗，天王星 4 颗，海王星 1 颗，共 21 颗卫星。这 21 颗卫星都是通过天文望远镜目视观测发现的，天文望远镜大大地武装了人类的眼睛。

1901～1974 年，在这 74 年间，又发现木星的 8 颗卫星，土星的 2 颗卫星，天王星和海王星各 1 颗卫星，共 12 颗卫星。这 12 颗卫星都是通过天文远镜用照相方法发现的。照相方法完全代替了人的眼睛。这样，太阳家族的卫星总数达到 34 颗。

1975～1989 年，在这 15 年间，先后又发现木星的 3 颗卫星，土星的 12 颗卫星，天王星的 10 颗，海王星的 6 颗和冥王星的 1 颗，共 32 颗卫星。近 15 年发现的卫星数几乎等于过去三个半世纪所发现的总和，使太阳系的卫星总数增到 66 颗。这里还要记住：与以前发现的卫星相比，这些新发现的卫星体积都很小，非常暗，在地球上用一般天文望远镜是看不见它们的，就更谈不上发现了。当然，在新发现的 32 颗卫星中，只有冥王星的卫星是 1978 年在地球上用天文望远镜照相观测发现的。其他 31 颗全是空间

探测器飞临行星附近，做专门近距考察时发现的。宇航技术完全改变了天文观测的环境，使天文学的研究手段从观测进入考察。从上述三段历史时期看，新卫星的发现日新月异，这表明技术科学的发展对人类认识太空产生的巨大威力。如果说太阳家族是一个大家庭，每个大行星又是一个独立的小家庭，每个小家庭有多少“小字辈”呢？目前，已知九大行星所属66颗卫星的分布是：水星：0，金星：0，地球：1，火星：2，木星：16，土星：23，天王星：15，海王星：8，冥王星：1。

我国天文学家戴文赛先生在研究太阳系的起源和演化时，根据九大行星的特征，将九大行星分成三大类型。即类似地球的行星，叫类地行星，有水星、金星、地球和火星；体积很大的行星，叫巨行星，有木星和土星；离太阳远的行星，叫远日行星，有天王星、海王星和冥王星。如果以这样三类来分，卫星的分布是：类地行星共3颗卫星，巨行星共39颗卫星，远日行星共24颗卫星。行星和卫星的分布是研究太阳系的起源和演化的重要方面。

最为奇特的是不仅大行星有卫星，就连小行星也发现有卫星。天文学家们既感到惊奇，又

感到喜悦。1978年6月7日，发现第532号小行星（名为大力神）有卫星。1978年12月11日，又发现第18号小行星（名为梅波蔓）也有卫星。后来还发现几颗小行星也可能带有卫星。现在有人又在考虑，有没有绕大卫星运动的小天体呢？如果将来真的发现卫星的“卫星”，那么太阳家庭就是“四世同堂”了。

66颗卫星的大小和形态千差万别，迥然不同。体积最大的前十名是：木卫三直径5150公里，土卫六直径4828公里，木卫四直径4800公里，木卫一直径3630公里，月球直径3476公里，木卫二直径3140公里，海卫一直径2720公里，天卫四直径1630公里，天卫三直径1610公里，土卫五直径1530公里。这前十名中，木星的卫星4颗，土星和天王星的卫星各2颗，海王星和地球的卫星各1颗。只有木星的强大引力才能“管住”这么多大卫星。现在已知木卫二、木卫三和土卫六上都有大气层。

直径在200公里以上的卫星有23颗，直径大于1000公里的卫星有16颗，直径在3000公里以上的卫星6颗。比水星大的卫星有木卫三，比冥王星大的有7颗卫星。

在卫星世界里，已知冥王星卫星的直径为

1200公里，与冥王星直径2400公里之比约为1：2。这是卫星和自己的行星体积比值最大的。为什么它们的比值如此之大呢？有人认为，冥王星可能不是在太阳系内形成的天体，而是被太阳引力俘获的原来是太阳系外的一个小天体。这个小天体后来可能受到一次撞击，一分为二，便是现在的冥王星和冥卫一。也有人认为，冥王星和冥卫一原来不是“正统”的行星和卫星关系，而是两颗游荡着的大彗核，只是后来在太阳的引力下才形成目前的轨道。当然，这些都有待进一步研究。

从形状上看，体积大的卫星基本上都呈球形，体积小的卫星有的呈球形，有的是椭球形，有的是不规则的形状。在不规则形状的卫星中，我们了解最多的是火卫一和火卫二。它们的形状很像两块马铃薯。卫星的大小和形状展示出它们自身的不同经历，记录了它们复杂的生涯。至于它们的历史究竟是怎么回事，现在还说不清楚。

现代太阳系演化理论认为，九大行星和大多数卫星的轨道，都遵循一些基本规律。它们是：同向性，即都是沿反时针方向运动；共面性，即卫星轨道基本上都在自己行星的赤道面内；

近圆性，绝大多数卫星轨道都近似正圆轨道，甚至比行星轨道还圆。同时，绝大多数卫星的自转周期等于公转周期，即像月球一样，总以同一个半面向着自己的行星。

然而，“别出心裁”的不规则的“小字辈”也大有“星”在。比如，木卫六、木卫七、木卫八、木卫九、木卫十、木卫十一、木卫十二、木卫十三、土卫九、海卫一和海卫二等，它们的轨道都不在自己行星的赤道面内，而有 20°以上的交角。特别是木卫八、木卫九、木卫十一、木卫十二和土卫九，它们与众不同，在轨道上沿顺时针方向运动，在天文学上称这样的运动为逆行。

更奇特的是土卫三、土卫十三和土卫十四，这三颗卫星共“居住”在同一个轨道上。土卫十三在土卫三前面 60°，土卫十四则在土卫三后面 60°。三个“小字辈”运行得还很协调，令人刮目相看！土卫七更有自己的“绝活”，它的自转似乎有点杂乱无章，在轨道上公转也摇摇晃晃，活像一个醉汉。它为什么是这个样子呢？有人认为，可能它遭到过一次撞击，偏离了原轨道，正在逐渐恢复之中。

土卫十和土卫十一的轨道十分靠近，离土星都在 15.1 万～15.2 万公里之间。公转周期

都是16小时40分左右。所不同的是土卫十的轨道与土星赤道之间的倾角是0.3°，土卫十一则是0.1°。有人认为，这两颗卫星原来可能就是一颗卫星，后来在某次还不知其原因的撞击事件中分成两半。

海卫二的运动也有特色。它的轨道非常扁，离海王星最近时有140万公里，最远时竟达970万公里，相差近7倍，实在少见。

最有趣的卫星和行星之间的运动关系要算冥王星和冥卫一。冥卫一的自转周期和公转周期及冥王星的自转周期，都是6.3867个地球日。这意味着冥卫一总以同一面向着冥王星，而冥王星也总以同一面向着冥卫一。也就是说，从冥王星上看冥卫一时，它在天空中的位置是固定的，在冥卫一上看冥王星时也是这样。真是太空奇观！

太阳家庭中的这些五花八门的卫星，为我们深入地认识太阳系内的天体规律提供了丰富多彩的信息，同时也提出了众多的疑难问题。

太阳家族的邻居

我们居家总要了解自己周围环境和邻居的状况。地球的空间环境和邻里就是太阳系内的

行星际空间。那么，太阳系所处的恒星际空间又有哪些邻居呢？它们的状况如何？我们知道，在银河系内约1000亿颗恒星中，离太阳最近的恒星是半人马座的比邻星，它离太阳约4.2光年，目视星等为11等星。可见，在距太阳4光年半径的恒星际空间是没有任何恒星的。只有太阳和它的家族在这里安居乐业。这是一个充满活力的空间。在距太阳5光年之内，有3颗恒星。它们是：上面介绍的比邻星，还有与比邻星在一起组成目视三合星的另外两颗恒星。它是半人马座a星（甲星），叫南门二，它是全天第三颗最亮的恒星，约为0等星，它与我们太阳属同一类恒星，其体积和质量比太阳稍大一点，距太阳约4.3光年。另一颗星亮度为1等星，距太阳约4.3光年，体积和质量略比太阳小一点。第三颗星就是比邻星。在距太阳10光年内共有11颗恒星。除上面介绍的3颗恒星外，还有著名的蛇夫座巴纳德星。它是1916年由美国天文学家巴纳德发现自行最大的恒星，它每年自行10.31″，为9.5等星，距太阳5.9光年；大犬座天狼星，它是目视双星。甲星就是天狼星，是全天最明亮的恒星，距太阳约8.6光年，为－1.5等星。另一颗乙星是天狼星的伴星，为

8．5 等星，距太阳也是 8．6 光年，它是一颗典型的白矮星；鲸鱼座中 UV 星也是一颗双星，距太阳都是 9 光年。其中 UV 星 B 是 1948 年发现的特殊型的变光恒星。它在 3 分钟内，光度可增强 11 倍，然后又慢慢暗下来。它为 13 等星，是距太阳最近的耀星。狮子座佛耳夫 359 星距太阳 8.1 光年；大熊座拉兰德 21185 星距太阳 8.2 光年；人马座罗斯 154 星距太阳 9．3 光年。距太阳 21 光年内，则有 100 颗恒星，其中包括天鹰座中的牛郎星，小犬座中的南河三和天鹅座 61 星（两颗）等。

太阳的这些近邻各有特色，天文学家们早已把它们列为重要的研究对象。

太阳家族之谜

在所有的各类天体里面，与我们人类关系最密切的要数太阳，影响最大的也是太阳。人类最关心和研究得最多的天体，除了地球这艘“宇宙航船”外，大概就是太阳了。人类对太阳的研究，可以一直追溯到最遥远的古代，而科学地研究太阳，并取得辉煌成果，那只是最近几百年的事。从把太阳当作神到今天我们对这颗太阳系中心天体的了解，是个不断解谜而又不断提出新谜，以及逐步深化和更全面地认识的发展过程。

可是，即使站在今天科学技术水平的角度来看太阳，它向我们提出来的谜，也包括那些疑难之点在内，仍旧是相当多，而且是五花八门，更不要说今后一定还会继续不断地出现

的新的谜和问题。把这些谜写成一本厚厚的大书，也并不是十分困难的事。

中微子失踪案

太阳内部究竟是什么样子？

恐怕谁都不能完全说清楚。因为，人们平常对太阳的观测，不论用的是什么手段，不论是可见光还是射电波、紫外线、X射线等，基本上只能看到它的表面和大气中的一些现象。日震为我们提供了太阳内部的部分信息，但这种信息很有限，而且也不能深入到太阳最核心的部分。

中微子，这种物质结构中的基本粒子之一，向科学家们伸出了支援之手。

中微子是什么样的东西呢？它哪来那么大的本领？

我们知道，小到纸张、铅笔，以及塑料、橡皮、布匹等等，都是由无数分子组成的，而分子一般则是由两个以上的不同化学元素的原子组成，譬如，我们生活中不可缺少的水，就是由氢原子和一个氧原子合在一起组成的。

那么，原子是由什么东西组成的呢？是由比它还要小得多的基本粒子组成的。到目前为止，已经发现了好几十种基本粒子，如光子、电子、

质子、中子等，中微子是其中的一种。

中微子的存在早在本世纪 30 年代初就有人提出来了，20 多年后从实验中得到证实。中微子是一种性质很特别的基本粒子，它的质量小得不能再小，几乎快接近于零了。它不带电，也不与一般物质打“交道”，是个脾气孤僻又很难跟它“对话”的家伙。

有意思的是，太阳中心在热核反应过程中，却产生出大量的中微子，每秒钟约 200 万亿亿亿亿个。由于它们对别的物质概不理睬，势必就浩浩荡荡迅速穿过太阳内部各层，直奔空间，其中一部分就直奔地球而来。根据理论来推算，每秒钟、每平方厘米的地面上大概落下 600 亿个中微子，我们的头顶上要承受多少中微子的袭击呀！比雨点密了多少倍呀！不过，我们一点都不必担心，中微子的质量实在是太小太小了，我们对它没有丝毫的感觉，也不会受到它任何的伤害。

从太阳核心部分来的中微子，必然带着核心部分的宝贵信息，如此大量的中微子亲临地球，向人类报告太阳内部的温度、压力、密度和各种物理状况，这对人类来说，真是“踏破铁鞋无觅处”的绝好机会。

设置陷阱

知道有大量中微子来到地球上，那还是比较容易的，真正要抓住它们，哪怕是只抓住少数"代表"，就不那么容易了。为了排除一切干扰，包括避免由宇宙线产生的中微子混进来"捣乱"，美国布鲁克黑文实验室的戴维斯等科学家，于1955年布置了一个特殊的陷阱，像捕捉野兽那样，等待中微子来自投罗网。他们的陷阱是个大容器，装下了39万升（开始实验时只装了3900升）、重600吨的四氯化二碳溶液。容器安置在一座报废了的在地面下1500多米深的金矿矿井里。这对中微子来说是无所谓的，因为它不会与别的物质发生作用，钢筋水泥、铜墙铁壁、土层岩石都挡不住它，它会轻而易举地直接来到矿井，穿透容器壁，而与溶液发生作用。

从计算情况来看，大体上1800亿亿亿亿个化学元素氯的原子，平均可以在一秒钟内抓到一个中微子，而溶液中大致有200多万亿亿亿个氯原子。这么算起来，戴维斯等人布置的陷阱每天只能落进去1.1个中微子，可说是不多。我们把一件很困难完成的事比作是大海捞针，逮中微子比大海捞针还难得多。

结果怎么样呢？

莫名其妙的案情

经过10多年的探测，有了初步结果，“中微子被逮住了”的消息不胫而走，立即轰动了全世界。天文学家们为抓获了直接从太阳核心部分来的物质而兴高采烈，并寄予很大希望。可是，好景不长，戴维斯等很快发现，实验结果与理论推算不符合。原本希望每天能捕捉到1.1个中微子，实际情况却有很大出入。1973年的实测结果是每5天“捉”到1个中微子，有时候则是接连好几天1个中微子的影子都不见。1978年得出的结果是，平均2.3天得到1个中微子。大体说来，中微子的探测值只是理论值的1/3，两者相差颇多。

其余的中微子哪里去了呢？

戴维斯及其合作者对陷阱和实验步骤的全过程作了反复的推敲和考察，认为容器、溶液和整个实验工作是无可指责的。这意味着中微子理论确实出现了“危机”，这就是直到现在仍使科学家头痛的中微子“失踪”案。

奇怪，太阳中微子哪里去了呢？

人们因此而受到启发，认为中微子的失踪至少反映出三个方面的问题：

（1）也许我们对于太阳内部构造，处于特殊

状态下的物质性质，了解得太少了，甚至有严重缺陷和错误，应该重新掌握大量第一手资料，建立更加符合实际情况的理论模型。

（2）也许我们已经建立起来的热核反应的理论有问题，尤其是在太阳内部的具体条件下，中微子的产生理论和机制可能都有误，需要重新考虑，也许就根本没有产生出那么多中微子。

（3）对中微子本性的了解，对中微子在从太阳到地球的过程中某些性质是否会改变等，在认识上也许都还存在不少问题。

可疑的踪迹

为了解释观测与理论之间的矛盾，科学家们从不同的角度提出的假说已达好几十种。下面是其中的几个例子。

太阳内部重元素的含量，现在一般都定为2.5%。如果这个比例能降低到0.1%的话；如果太阳内部的自转比表面快得多，中心部分的自转比表面快两倍的话；如果太阳核心部分的磁场特别强的话；如果太阳中心有个半径只有几厘米而质量达到太阳的十万分之一的微型黑洞的话；……太阳中微子的理论值就会比现在所认为的小得多，它就能与观测值比较符合。

这类“如果”还可以举出一些，但是，不管

情况究竟怎么样，是否有点道理，它们给人的感觉是：假说都是为了适应观测值的需要，而特意生搬硬套地“制造”出来的，不能解决什么根本问题。

有人将太阳中微子的“失踪”，跟太阳耀斑联系在一起；也有人认为，太阳中微子流的数量随时间而变化，可能与太阳活动存在着一定的关系。

有人主张太阳的组成成分、中心温度，与传统的认识也许有所不同，正是这些因素影响着中微子数目的多少。

有人指出，应该重新测定中微子的质量，也许能从这里找到中微子“失踪”案的答案。几乎已成定论的太阳核心热核反应过程，也许事实上并不完全是那样。再说，中微子从太阳飞到地球的 8 分多钟时间内，在奔走了 15000 万公里之后，它本身会不会表现出“疲劳”而变得“衰弱”些呢？

总而言之，已经提出来的假说真是五花八门，但都不成熟。看来，最好的办法莫过于继续加强观测和实验，进一步搜集和掌握更多的有说服力的第一手资料。

戴维斯的实验没有取得预期的结果。他失

败了，但并不灰心，他准备建立一个灵敏度更高的“陷阱”，来捕捉更多的中微子。日本神冈的中微子监测器已开始运转了好几年；前苏联北高加索地区匹克桑河床下面的地下实验室正在进行一项非常重要的实验，它能探测到的中微子范围比前面介绍的美国和日本的要广得多；意大利罗马附近大萨索山地下实验室和加拿大的、布置在深2000多米镍矿井中的中微子实验室，也都分头积极进行各具特色的实验。

我们相信，总有一天太阳中微子之谜会被揭穿，“失踪”案最后会水落石出。

太阳伴星之谜

在天文学上，一般把围绕一个公共重心互相作环绕运动的两颗恒星称为物理双星；把看起来靠得很近，实际上相距很远、互为独立（不作互相绕转运动）的两颗恒星称为光学双星。光学双星没有什么研究意义。物理双星是唯一能直接求得质量的恒星，是恒星世界中很普遍的现象。一般认为，双星和聚星（3～10多颗恒星组成的恒星系统）占恒星总数的一半多。太阳作为一颗较典型的恒星，它是否也有自己的伴侣——伴星呢？或者说，它是否也属于一种比较特

殊的物理双星呢？近几年来，这是科学家非常关心的问题，这个问题是由地球上物种绝灭问题提起来的。

太阳是双星吗

天文学家曾有过太阳具有伴星的想法是很自然的事。当人们发现天王星和海王星的运行轨道与理论计算值不符合时，曾设想在外层空间可能另有一个天体的引力在干扰天王星和海王星的运动。这个天体可能是一颗未知的大行星，也可能是太阳系的另一颗恒星——太阳伴星。

为了解释美国那两位古生物学家的发现，1984年，美国物理学家穆勒和他的同事，共同提出了太阳存在着一颗伴星的假说。与此同时，另外的两位天体物理学者维特密利和杰克逊，也独立地提出了几乎完全相同的假说。

穆勒在和他的同事们讨论生物周期性绝灭的问题时说："银河系中一半以上的恒星都属于双星系统。如果太阳也属于双星，那么我们就可以很容易解决这个问题了。我们可以说，由于太阳伴星的轨道周期性地和小行星带相交，引起流星雨袭击地球。"他的同事哈特灵机一动，说："为什么太阳不能是双星呢？同时，假设太阳的

伴星轨道与彗星云相交岂不是更合理一些？"于是，他们在当天就写出了论文的草稿。他们用希腊神话中"复仇女神"的名字，把这颗推想出来的太阳伴星称为"复仇星"（Nemesis）。

前面所提到的彗星云一般称为"奥尔特云"，它是以荷兰天文学家奥尔特的名字命名的绕日运行的一团太阳系碎片，奥尔特曾认为它距离太阳15万天文单位（日地平均距离），可能是一个"彗星储库"，其中至少有1000亿颗慧星。由于太阳伴星在彗星云附近经过，使彗星运动轨道发生变化，因此引起彗星撞向地球，结果引起了生存条件的变化。穆勒说，这种彗星雨可能持续100万年。这一观点与某些古生物学家设想物种绝灭并不是那么突如其来的意见是一致的。

人们考虑到，如果太阳有伴星的话，在几千年中似乎却没有人发现过，想必它是既遥远又暗淡的天体，而且体积不大。这是很有可能的情况，因为在1982～1983年，天文学家利用红外干涉测量法，测知离太阳最近的几颗恒星都有小伴星，这种小伴星的质量仅相当于太阳质量的1/15～1/10。此外，在某些双星中，确实还有比这更小的伴星存在着。

恐龙绝灭

随着现代考古学的进展和放射性同位素测定年代的技术应用于考古学，人们发现，在过去的6亿年中，地球上至少发生过5次大的和几次小的生物绝灭。譬如，其中主要的有5亿年前的寒武纪绝灭，导致三叶虫类从地球上消失；2.48亿年前二叠纪发生的一场最大的生物绝灭，约有90%以上的海洋生物绝种；大约在6500万年前的白垩纪，地球上的庞然大物恐龙以及70%的动植物种灭绝了。

引起这种大规模物种绝灭的原因是什么呢？有些科学家指出，这是由于地壳板块的漂移，形成大地震和造山运动，新的大陆和海洋出现，引起生物环境的变迁，物种因此而发生大规模绝灭。这个理论的问题在于，大陆板块漂移是较慢的，而且是不间断的，为什么物种大规模绝灭带有突发性，即似乎是“一下子”就被毁灭了呢？1977年，美国地理学家阿瓦兹与它的父亲——诺贝尔物理学奖获得者路易斯，提出了恐龙绝灭与白垩纪末期的陨石雨有关的假说，其中提到可能有一颗小行星碰撞地球导致恐龙绝灭。

1984年，美国的两位古生物学者，对地球

上物种绝灭情况作了统计分析研究，结果发现，在过去的2.5亿年中，生物灭绝似乎有一定的规律：约每隔2600万年出现一次绝灭高峰期。如此准确的周期性意味着什么呢？人们根据古生物学者推算出的生物灾难期，对地面大陨石坑形成年代进行了考察，发现在生物灾难期间形成的陨石坑，比其他年份多得多。有的天文学家认为，这可能是由于彗星周期性地轰击地球而引起的。因为，在银河系平面中，宇宙尘埃比较密集，当太阳带领太阳系全体成员经过此平面时，宇宙尘埃就会扰动彗星云，引起彗星轰击地球，导致生物的大规模绝灭。

“复仇星”在哪里

自从太阳伴星——“复仇星”的假说公诸报端，科学家们开展了认真热烈的讨论。人们根据开普勒定律推算，若其轨道周期为2600万年，那么轨道的半长轴应该是地球轨道半长轴的88000倍，约1.4光年，即太阳伴星距太阳比任何已知恒星要近得多。

1985年，美国学者德尔斯莫在假设“复仇星”确实存在的前提下，用一种新方法算出了这颗星的轨道。他首先对最近2000万年左右脱离奥尔特云的那些彗星进行统计、调查，对126颗

这样的彗星及其运动作了统计研究，断言他的统计可靠性达95%。他确定，大多数这类彗星都作反方向运动，即几乎与太阳系所有行星运动的方向相反。根据这些彗星的冲力方向算出，在不到2000万年以前，奥尔特云从某一其他天体接受到一种引力冲量。他认为，这是由一个以每秒0.2或0.3公里速度缓慢运行的天体引起的，“复仇星是一种令人满意的解释”。

德尔斯莫根据动力学算出，“复仇星”的轨道应该与黄道几乎垂直，它目前应该接近其远日点（距太阳最远的点），而它的方向应该是离开黄极5°左右。

美国学者托贝特等，计算了“复仇星”可能的轨道因星系“潮汐”——即太阳系以外的物质引力影响而产生的轨道变化。考虑到这颗星可以运行到离太阳很远的地方，很容易受到别的天体引力的影响。托贝特说，即使它原先的轨道很稳定，也不可能在从太阳系存在以来的46亿年中，轨道一直保持不变。许多研究者同意这样的看法：这颗轨道周期为2600万年的伴星的预期寿命至多为10亿年。这就意味着，它可能是在太阳形成之后很久才被太阳“俘获”的，或者就像有的科学家指出的那样：在“复仇星”刚形

成时，它和太阳之间的联系要比现在紧密，其周期约为100～500万年，后来由于其他天体的引力“牵引”而外移到现在的轨道；这种外移最终会导致它脱离太阳的引力影响。

为了寻找“复仇星”，穆勒等人用大型天文望远镜拍摄了大约5000张北半球暗星的照片。他计划，每隔一段时期拍摄一次，由比较一下哪些暗星存在较大的“自行”，它们就是“复仇星”的选者了。如果他们在北半球找不出这样的星体，他们还将探查南半球天空。一般认为，太阳伴星应属于一种较小的恒星——红矮星。可是，目前人们还没有南半球天空的红矮星表，观测上的困难是很多的。穆勒说：“如果他们找到了一颗近似的星体，接下来事情就好办了。”一旦从大海里捞出了这枚针，要证明这确实是那枚针就不难了。

疑问重重

针对太阳系的现状，有一些天文学者认为，太阳伴星由于某种原因未能形成，而形成了九大行星及其卫星、小行星和彗星等等。美国天体物理学家韦米尔和梅梯斯的研究认为，尚未发现的太阳第10颗大行星（经常写做X行星）可能是引起周期性彗星雨——生物大规模绝灭的

原因。

韦米尔他们是在把前人两个设想合并到一起后，创立这种新颖的解释的。这两个设想是：在冥王星轨道之外存在着X行星；以及认为在海王星之外的太阳系平面中可能有一个彗星盘或彗星带。在他们设计的一个模型中，X行星周期性地从上述彗星带近旁穿过，破坏彗星轨道，使大量彗星冲向太阳系内部。韦米尔说，这个理论的优点之一是X行星的轨道距离太阳要比“复仇星”近得多，因而将十分稳定。X行星轨道平面与太阳系平面成45°倾角，设想它每1000年沿轨道运行一周。但是它也会受到其他行星引力的牵引而引起轨道变迁，每隔2600万年，当其运行到接近上述彗星带时，就会触发一场彗星雨。

美国科学家海尔斯综合了不规则地通过“复仇星”轨道的恒星的各种作用，估计出“复仇星”在过去的2.5亿年中，其轨道周期的变化应为15%。鉴于此，人们认为，不管是哪种情况，在“复仇星”的可能轨道上，所有的扰动都意味着天文钟的调谐并不那么精确，而如果这颗太阳伴星确实存在的话，人们不应该期望它触发彗星雨和引起大规模物种绝灭的周期十

分精确。遗憾的是，至今缺乏更好的地质资料，尤其是陨石坑方面的资料，地球上的证据的不确定因素太大，以致于无法准确地说出“复仇星”天文钟的周期性能精确到什么程度。

总而言之，根据科学家们的研究推测，太阳很可能存在或有过伴星，但是要找到它、证实它，确实是一件困难的事，人们期望着科学家们早日解开这个宇宙之谜。

冕洞之谜

太阳大气最外面的一层叫做日冕。冕的本意是礼帽，日冕确实像顶硕大无比的帽子，从四面八方把太阳盖得严严实实。

除非用一种专门的仪器，否则，平常是无法对日冕进行观测的，只有在日全食的时候，才有机会看到它数十秒或者数百秒钟。日冕一般分为内冕和外冕两部分，从空间拍摄的日冕照片上，可以看到外冕最远一直延伸出去好几十个太阳半径那么大的距离。

日冕呈现出白里透蓝的颜色，柔和、淡雅，逗人喜爱。日冕虽然不亮，但用肉眼观测或者拍下照片来看，各处亮度还比较均匀，没有太明显的差别。可是，从空间拍下的日冕X光照片上看

起来，它却是另外个模样。其中最引人注意的是，日冕中有着大片不规则的暗黑区域，它们并不很稳定，形状时有变化，有人把它们比喻为是日冕中出现的“洞”，冕洞的名称就是这么来的。说实在的，冕洞这个名字并不恰当，因为它基本上都是长条形的，有时从太阳的南极或者北极，一直伸展到赤道附近，长好几十万公里。从X射线的角度来看，说它是“洞”还勉强可以，冕洞里确实是“空洞洞”的，穿过冕洞可以直接看到光球，光球是完全不发射X射线的，所以在X光照片上，冕洞表现为暗黑色的一片，看起来像是好端端的一个圆面上，被涂黑了一大片。

踏破铁鞋无觅处的M区

我们都有这样的生活体验：风从东面吹来的时候，树叶、炊烟以及我们的衣服和长发，都向相反的西面飘起来。天文学家们从彗星尾巴老是背着太阳这一点得到启发，猜测太阳是不是也刮“风”？当然，这风指的是从太阳向外抛射出来的带电的物质粒子等。正式提出太阳风的名称，并得到确认，那是本世纪50年代的事。

太阳风是从太阳面上什么地方往外吹出来的呢？这个问题一开始没有得到圆满的解释。

在本世纪30年代之前，科学家们惊奇地发

现，某些磁暴——地球磁场的强烈骚动是周期性的，每隔一定的周期就重复出现，周期是27日。显然，产生这种磁暴的原因也应该具有27日的周期。科学家们很自然地想到了太阳，它赤道部分的会合周期也是27日，可见这两者之间存在着某种关系。

周期性发生的磁暴与太阳赤道部分的哪些区域有关呢？这是些什么样的区域呢？多少年来，一直没有人能说清楚。这些“神秘”的区域被叫做M区，但谁也没有在观测中发现过M区。

在对冕洞的探讨和研究过程中，天文学家们找到了根据而恍然大悟，40多年来踏破铁鞋无觅处的M区，原来就是太阳赤道部分的冕洞，从它那里使劲地往外“吹”的带电物质粒子，就是好几百年“视而不见”的太阳风。

冕洞、M区、太阳风，三者合一，不仅解释了一直存在的一些疑难问题，也推动了科学家们去进一步探讨由日冕和冕洞反映出来的新现象。

“天空实验室”的误飞

本世纪60年代以后，一系列的空间探测器为我们取得了大量的有关日冕和冕洞的第一手

资料。尤其是“天空实验室”的发射成功，在其从 1973 年到 1979 年 6 月运行期间，特别是三次载人飞行期间，主要的观测对象就是太阳，总共拍摄了 18 万多张珍贵的太阳照片，为我们深入认识太阳和日冕作出了贡献。

“天空实验室”飞行期间，正是太阳活动并不太剧烈的时期，太阳面上的冕洞总面积竟然达到 20%的样子，其中小的也许只占 1%，而大的可达 5%。太阳表面的 1%大体上是 600 多亿平方公里，这些冕洞有多大呀！在太阳活动剧烈的时候，冕洞的面积是否会更大更多呢？多到什么程度呢？现在还说不太清楚。

有趣的是，太阳两极处冕洞面积的总和可以说是相当稳定的，加在一起可达到太阳表面总面积的 15%左右，也就是一个极处的冕洞面积扩大时，另外一个极处的冕洞就缩小，反过来也一样。为什么两极的冕洞面积之和基本上保持不变呢？难以理解！

冕洞是太阳大气中一种寿命较长和比较稳定的现象，一般可以存在相当于 5 个太阳自转周期那么长时间，有的甚至达到 10 个周期。小冕洞的寿命比较短，也许只存在二三十天，大致相当于 1 个太阳自转周期。冕洞面积的增长和

减小速度比较平稳，而且大体相同，约每秒10000多平方公里。为什么冕洞存在的时间那么长，比黑子长得多？为什么它面积的增长速度和减小速度又大体相同呢？难以理解，也难以解释清楚。

前面说过，冕洞是太阳上的一种比较稳定的现象，这是科学家们长时间研究的结果。但是，空间观测给科学家们的提示是：日冕的短时间的“瞬时”现象，不仅存在，而且很壮观。从“天空实验室”对太阳所作的精细观测表明，日冕经常发生突如其来的、相当猛烈的抛射现象，大量物质一下子从冕洞排山倒海般地向四面倾泻，使附近的日冕部分发生明显的改变。一次这样的瞬时现象可以短到几分种，长到一二个小时。在此期间被抛出的物质少则数百亿吨，多则上千亿吨，物质被抛出的速度可以达到每秒500公里以上。这种瞬时现象是怎样发生的？是由于什么机制触发而形成的呢？它与太阳的整体活动有什么关系？等等，现在都还难以理解和解释。

一天所获

科学家们确实已经知道了不少关于冕洞的物质和情况，也确实有许多现象还没有得到满

意的解释。除了上面提到的冕洞的面积、寿命、增大和减小速度以及瞬时现象等之外，这里再列举几个方面：

冕洞的分布：最近20多年来，观测到的所有冕洞几乎都跟同一个太阳半球上的极区冕洞联系在一起，而且往往延伸到另一半球。换句话说，在太阳北半球出现的冕洞，从北极区开始向南穿越整个北半球，穿过赤道，一直延伸到南纬20°左右；南极区的冕洞则与南半球上的冕洞联结在一起，并一直延伸到北纬20°左右。为什么会是这样的分布情况呢？还不清楚。

冕洞的旋转：太阳大气中的多数现象的旋转情况是这样的：所处的日面纬度越高，绕太阳旋转的速度越慢。这就是所谓的较差自转，或较差旋转效应。冕洞似乎不遵守这种效应，它以自己的方式随着太阳自转，相对于太阳来说，它的位置基本不动，近似于所谓的刚体旋转。譬如同样都是在日面纬度40°处，冕洞的旋转速度比黑子要快7%左右；比赤道区域的冕洞只慢0.5%～1.0%，可说是相差无几。为什么冕洞不作较差自转？还不太清楚。

冕洞与磁场的关系：冕洞总是出现在太阳面上大而只有单极（正极或负极）的磁区域中，

它因此而被区分为正极型和负极型两种。可是，并不是每个大的单极磁区中都会产生冕洞。就磁场强度来说，冕洞中的磁场是不均匀的；冕洞与无冕洞区的磁场并没有明显的差别，而且比太阳活动区要弱。可以认为，冕洞的产生和存在与磁场强度的大小，没有太大的关系，至少不是起主导作用的关系。

那么，冕洞究竟是怎么形成的呢？冕洞出现的频率有什么规律吗？冕洞的边界是如何逐步变化的？如果说，冕洞的发生和形成是由于太阳上的某种特殊过程的结果，那么这个特殊过程又是什么呢？

冕洞及其所在的日冕，为科学家提供了许多令人惊奇而难以理解的现象，而对这些现象的本质的认识，我们还处在茫然无知或者说刚开始的阶段。

耀斑之谜

太阳物理学是天体物理学中最重要和最出色的部分之一，而对于"精耕细作"过的太阳来说，耀斑又是太阳物理学家最感兴趣的课题。为什么如此呢？因为太阳上最激烈的活动现象是耀斑，对地球影响最大的日面现象也是耀斑，当

代太阳物理学中最大的难题还是耀斑。

太阳是一个高温气体球，由于太阳物质的透明性不佳，用光学望远镜或射电望远镜只能直接看到它的外层——太阳大气。太阳大气从下到上分成三层，即光球、色球和日冕。在色球与日冕之间，有时会出现亮度突增的现象，即这块区域突然变得比周围明亮；与此同时，射电波、紫外线、X 射线的流量也突然增加，有时还会发射高能 γ 射线和高能带电粒子。这种太阳局部地方的辐射突然增加现象，就是太阳耀斑。随着对太阳研究的不断发展，以及对太阳耀斑理解的逐步深入，天文学家提出了“品种”繁多的耀斑概念。例如，把发射可见光增强辐射，并可用单色光观测到的耀斑区称为光学耀斑；与光学耀斑相类似，用 X 光观测到的耀斑区称为 X 光耀斑；会发出完整的连续光谱，在白光照片上也能看见的称为白光耀斑；发射高能质子流、产生太阳质子事件的耀斑称为质子耀斑；另外还有能被地面观测宇宙线的设备记录到宇宙射线粒子的宇宙线耀斑，等等。

耀斑最突出的特征是来势凶猛能量大，在短短的一二十分钟内，一个大的耀斑可以释放 1 万亿亿亿甚至 10 万亿亿亿尔格的巨额能量，相

当于10～100万次强火山爆发的能量总和。如此大的气魄，使地球上的自然现象望尘莫及。

天文学家把增亮面积超过3亿平方公里的称为“耀斑”，不到3亿平方公里的称为“亚耀斑”。耀斑分为四级，分别以1、2、3、4表示，在级别后面加上f、n、b，分别表示该耀斑亮度为弱、普通、强。所以最大最亮的耀斑是4b，最小最暗的是1f。

耀斑的破坏行为

太阳是地球能量的源泉，如果太阳打个“喷嚏”，地球都会“感冒”。那么，称为太阳上“惊天动地的爆炸”的耀斑，毫无疑问地会对地球造成强烈的影响。

耀斑发射出强烈的短波辐射，严重地干扰了地球低电离层，使短波无线电波在穿过它时遭到强烈吸收，致使短波通讯中断。耀斑发射的带电粒子流与地球高层大气作用，产生极光，并引起磁爆。耀斑的高能粒子会对在太空遨游的宇航员构成致命的威胁。近些年来，科学家还把地球演变、地震、火山爆发、气候变化，甚至心脏病的发生率、交通事故的出现率与耀斑爆发联系起来。为了避免和减轻耀斑造成的危害，许多科学工作者正孜孜不倦地从事耀斑预报的研

究。但像地震预报一样，这是一个十分艰深的课题，由于我们对耀斑产生的规律和机制知之不多，充其量只能预测在日面哪些区域可能出现耀斑，至于什么时候出现就很难预料了。最近，北京天文台的艾国祥等一些天文学家在观测中发现，在耀斑爆发出现前数小时，日面磁场图上呈现红移现象，这种耀斑前兆红移现象，反映出物质向下沉降的倾向。学者们认为，对这种现象的深入研究及获得更多的观测结果，有可能为太阳耀斑预报提供一种新的有力手段。

太阳耀斑的研究具有重大的意义，其重要性不但在于日地关系的认识方面，也因为它的研究同天体物理学中其他领域的研究有着密切的关系。太阳耀斑现象只是自然界中所广泛发生的耀斑现象中的一个特殊情形。通过对太阳耀斑的研究，可以了解许多其他有关的恒星和星系。同太阳耀斑有关的物理机理也可能用来解释其他天体物理现象，如耀星、射电星系、类星射电源、X 射线星和 γ 射线爆发等。这些都增加了太阳耀斑问题的重要性和天文学家对其研究的兴趣。

耀斑的形成

耀斑的巨大能量来自磁场，这可以说已成

定论。简单的计算表明，一个强度为100多高斯、体积为100亿亿亿立方厘米的磁场区域，一旦土崩瓦解，它释放的磁能供给一次大耀斑爆发绰绰有余。因此，寻找耀斑的基本能源并不是特别困难的事。困难的问题在于解释这些能量转变成何种形式才能产生耀斑。也就是说，磁场这个魔术师是怎样像变戏法一样把耀斑这个怪物弄出来的？是什么原因使储存在磁场中的能量一下子突然释放出来？另外，许多种性质相差悬殊的辐射怎么会一起迸发出来？为什么低温的可见辐射与高温的X射线一道出现？这些都是天文学家一直未能解决的耀斑中的关键问题。

在本质上，关于耀斑起源的所有理论都认为，活动区中的强磁场起着重要的作用。因为耀斑的发生、位置和形状明显地表明它们同磁场的关系密切。分歧在于能量储存的两个主要问题：其一，耀斑能量是否是在耀斑过程中或在此之前由下面进入大气层的？若在此之前，则时间多长？是几十分钟、几小时还是几天？其二，如果耀斑能量事先就储存在大气中，那么磁场的作用是主动的还是被动的？主动作用指磁能本身就是主要的耀斑能源；被动作用指磁场好像

是容器、捕捉机、催化剂或引导途径一样。

认为磁能是耀斑能源的理由是：没有观测表明，在耀斑发生前能量以其他形式储存着。除磁能外，没有其他形式的能量足够大到可作为耀斑的能源。虽然耀斑发生前后磁场变化不大，但这可能是因为所测出的是光球磁场，而耀斑却发生在色球和日冕中。特别是由于所预期的磁场变化接近于磁象仪的观测极限。认为磁场只起被动作用的论据是：没有观测证明在耀斑前后磁场有显著变化。反对磁场起主要作用的有些人仍承认能量储存在日冕中，但不是磁能。也有些人认为能量全不储存在太阳大气中，并假设在耀斑过程中能量来自光球之下。

天文学家提出的耀斑模型有数十种之多，但根据当前已有的观测资料，尚难以肯定哪种观点符合实际。不过大多数人倾向于认为，在耀斑发生前能量就储存在活动区中，而且耀斑的能源就是磁场本身。

从本世纪 50 年代开始，许多太阳物理学家致力于耀斑与磁场相互关系的研究。一般认为，磁场必须具备较复杂的磁场结构，磁场结构越复杂，越容易产生耀斑。经常发生耀斑的部位在磁场中性线（即磁场强度为零的地方）两侧，偶

尔也在中性线上。美国大熊湖天文台台长齐林是这样解释耀斑发生过程的：磁场沿磁力线下来，与色球层气体相碰撞，使中性线两侧磁力线的足跟部位发光，成为人们所见到的耀斑。总之，耀斑本身是磁场不稳定的结果。正是由于磁场这种非平衡状态，导致了耀斑的爆发，以达到磁场新的平衡，耀斑的爆发过程同时也是大量能量释放过程。较大的耀斑爆发不但由于氢原子热运动温度可达几千万度甚至上亿度，并且有很强的X射线、紫外光线以及高能质子放出。这些强烈的辐射光线增加了氢原子的压力，使氢原子、离子及其他微粒以超过1000公里/秒的速度抛出，成为太阳的微粒辐射。

地面研究

近年来，国内外天文学家在研究太阳活动区磁流体力学和太阳耀斑方面做了大量工作。从1957年国际地球物理年至今，已经历了四次太阳活动峰年，各国天文学家都非常重视峰年期的太阳观测，力求捕捉完整的耀斑资料进行形态分析和理论研究，进而了解耀斑的本质。第21周的1979～1982年太阳活动峰年期间，国内外都加强了这方面的工作，成立了“太阳活动峰年”国际组织，实行区域性联合观测，频繁地

进行国际间交流，硕果累累。

我国天文学家在此期间记录了不少有价值的耀斑爆发。1981年5月13日、16日，紫金山天文台接连观测拍摄到两起奇异的三级双带耀斑。这种耀斑的研究价值很高，它通常伴随着一般耀斑所没有的高能质子事件，强X射线暴以及强烈的射电暴。也就是说，它比一般耀斑的能量更大，更容易观测到它对地球物理影响的特征。北京天文台还记录了5月16日特大耀斑伴随的很强的射电爆发快速变化，揭示了极为丰富的精细结构和爆发的间接性。

云南天文台在第21周峰年期间发现了20例十分罕见的“无黑子耀斑”。一般来说，耀斑总是出现在以黑子为主体的活动区中，仅有个别耀斑“离群索居”，出现在无黑子区域。云南天文台天文学家的研究表明，尽管无黑子耀斑与一般耀斑大相径庭，但它们都从局部磁场获取能量，因此在物理性质上是一致的。

100多年来，全世界数以百计的天文台总共只记录到40多个白光耀斑，而其中拍摄到光谱的仅3个。1981年9月5日，紫金山天文台拍摄了一个白光耀斑的整套光谱，填补了我国白光耀斑观测的空白，在全世界这是第四次。过去

认为白光耀斑是最大最亮的耀斑，而这次观测到的白光耀斑却不大，因此给天文学家提出了一个新的问题：小耀斑怎么会发射出连续光谱？

自1985年起，我国有关专家学者就着手为第22周太阳峰年期的科学观测和研究积极作准备。1988年起，开始进行太阳物理和地球物理方面的联测，到90年代初，已取得了一批珍贵的资料。从现在的趋势看，第22周峰年的活动水平超过第21周几乎已成定局。峰年来得又早又强烈，使各国太阳和日地物理学家紧张得有点手忙脚乱了。

空间研究

地面观测受到诸多限制，耀斑的紫外线和X射线等重要辐射都被地球大气屏蔽了。空间探测为耀斑研究开辟了新的窗口。1973年5月美国成功地发射了“天空实验室”，它是一个载人的空间观测站。在9个月的观测中，它的望远镜、宇航员以及在休斯顿地面总部的太阳物理学家所进行的研究，是迄今对任何天体所作过的研究中组织得最好，配合得最默契的。对1973年6月15日耀斑，从它出现前到闪光和爆发阶段，以至冷却结束，“天空实验室”都做了系统的观测。分析结果表明，耀斑的爆发源是

位于日冕中的微小核心，由它发射的高能粒子流沿环形轨道向下运动，一直冲击到太阳表面，耀斑的可见光辐射就是在这个运动过程中产生的，是一种副产品。另外拍摄的耀斑光谱表明，不同谱线增强、达到极大和减弱的时间参差呈现，很有顺序。这些观测事实为美国天文学家斯塔拉克的磁力线再联接产生耀斑的理论，提供了很好的证据。

1980 年 2 月 14 日，美国发射了一颗主要用于研究太阳耀斑的“太阳峰年使命”卫星。作为太阳峰年国际联测的一部分，地面射电望远镜配合它，提供了比较连续的太阳记时观测记录。在地面科学家的指导下，“太阳峰年使命”卫星对 1980 年 4 月 30 日日面边缘耀斑拍摄了完整的紫外线和 X 射线光谱，以及硬 X 射线单色像。对 1980 年 6 月 7 日耀斑记录到一条能量非常高的 γ 谱线。

日本于 1981 年 2 月 21 日发射了一颗“火鸟”卫星，它载有上乘的观测仪器，并能不断地旋转，可以拍出 X 光太阳像以及不同波长的光谱。在入轨后的一年零 5 个月中，共观测到 675 个耀斑，其中 31 个有很强的 X 射线，最强的一个耀斑出现在 1982 年 6 月 6 日，强度为 12 级，

是有史以来记录到的最强的一次。此外，“火鸟”还观测到许多γ射线的耀斑。

为了深入研究耀斑，第22周太阳峰年期间，一些国家还准备发射一些卫星。日本、美国和前苏联联合研制的峰年探测卫星“Solar－A”在1991年下半年发射，俄罗斯准备的CORONAS－I和CORONAS－F两颗卫星，也分别在1991年和1992年发射。

科学技术的发展，使耀斑的观测和理论日臻完善，但远不能说对耀斑有了完美的认识。世界著名天文学家帕克形象地说过：目前人们所看到的耀斑只是“巨人的一双脚”。为了窥其全貌，天文学家正在不懈地努力着。用历史眼光来看，最终揭开耀斑谜底也许不会是太遥远的事情。

太阳黑子之谜

太阳的表面并不是无瑕的，有时也会出现或多或少的黑斑，这就是太阳黑子。

我国对黑子的观测可以说是源远流长。各国学者公认的世界上最早的太阳黑子记录，详细地记载在我国古书《汉书·五行志》里：“汉成帝河平元年三月乙未，日出黄，有黑气大如

钱，居日中央。”据专家考证，乙未应为己未。这指的是公元前 28 年 5 月 10 日的一次大黑子。这条记录不仅说明了黑子出现的日期，还描述了黑子的大小、形状和位置。

其实，我国还有更早的黑子记录，公元前 140 年前后成书的《淮南子·精神训》中有“日中有踆乌”的记载，踆乌就是黑子，再往前推，甚至可以上溯到 3000 多年前的殷代，殷墟出土的甲骨文中就不乏太阳黑子的记录。近些年来，我国天文工作者从公元前 781 年到公元 1918 年约 2700 年的历史典籍中，查出数百条有关黑子的记载，它们是极其宝贵的科学遗产。现代太阳物理学创始人、美国著名天文学家海耳曾高度赞扬说：“中国古人测天的精细和勤勉，十分惊人。远在欧洲人之前约 2200 年，就有黑子观测，历史记载络绎不绝，而且记录得比较详细和确实，毫无疑问是可以通过考证而得到确认的。”

欧洲人观测太阳黑子开始于意大利天文学家伽利略。1610 年，伽利略用望远镜在雾霭中观察太阳，并看到了太阳黑子。与他同时使用望远镜观测太阳黑子的还有德国的赛纳尔、荷兰的法布里修斯和英国的哈里奥特。

从肉眼直接观测到使用望远镜观测，标志着人类对太阳黑子现象的研究逐渐走向科学阶段，伽利略之后，人们对太阳黑子的研究如雨后春笋，蓬勃开展，不但揭示出太阳活动奇妙的规律，而且就太阳活动对人类环境和人类自身的影响，有了越来越多的了解。特别是进入 20 世纪以来，天文学家对黑子磁场、黑子光谱、黑子物理状态做了大量研究，建立了完整的黑子形成和演化理论。尽管如此，像黑子为什么是黑的？黑子是怎样形成的？这样一些最基本的问题还没有最终搞清楚。近年来的观测更是发现了一系列崭新的现象，它们向太阳物理学家提出反诘使传统观念受到猛烈冲击，太阳黑子这个古老问题更加引人入胜。

黑子其实并不黑

黑子看上去的确是黑的，但它实际上并不黑，只是在耀眼的光球衬托下才显得暗淡无光。其实一个大黑子比满月发出的光要多得多，即使太阳整个圆面都布满了黑子，太阳依旧光彩照人，就像它离地平线不高时的情景一样。一般来说，黑子的中心最黑，称为本影，周围淡的部分称为半影，本影的半径约为半影的 2/5。一个典型黑子本影的平均温度约 410K，比周围的光

球低 1700K 左右。为什么黑子的温度较低呢？这个问题困扰了人们很长时间。

本世纪初，海耳首先对黑子磁场进行测量，发现黑子的磁场很强，并且磁场强度与黑子表面积有关。小黑子的磁场强度约 1000 高斯，而大黑子可达 3000～4000 高斯，甚至更高。有人把黑子叫做日面上的“磁性岛屿”，由此人们很容易想到，黑子的黑与强磁场之间可能有某种联系。

1941，比尔曼提出，黑子的变暗是由于强磁场抑制光球深处热量通过对流向上传输的作用造成的。这个解释很直观。后来柯林对此模型又进行了一些修正，认为黑子中还有一些对流，但比背景中的热量传递小得多。观测也证实了黑子中有较弱的对流。

这个理论得到了天文界的普遍承认，然而随着观测和研究的深入，比尔曼理论的破绽开始暴露出来了。按照他的说法，在黑子下面，对流被磁场抑制了，那么对流所输送的能量到哪里去了？

为此，美国天文学家帕克提出了一个崭新的论点。在磁场引起低温这一点上他和比尔曼是一致的。但他认为，磁场并没有抑制，而是大

大促进了能量的传输。黑子的强磁场把绝大部分热量变换为磁流体波，磁流体波沿磁场传播，并带走了一部分能量，从而使黑子内部温度变低，同时又没有多余能量如何积累的问题。新理论比旧理论更加合理，但它还不是终极理论。

黑子方队

太阳黑子大多喜欢成群结队。复杂的黑子群由几十个黑子组成，而大多数黑子群是由两个主要黑子组成，沿着太阳自转方向，位于西边的黑子叫做“前导黑子”，位于东边的黑子叫做“后随黑子”，大黑子周围还有许多小黑子。极性相同的一对或一群黑子称为单级群，极性相反的一对或一群黑子称为双极群。黑子群中极性分布不规则的称为复杂群。

通过长期观测，19 世纪 40 年代，施瓦布发现太阳黑子数目表现出一种周期性的变化，变化周期大约是 10～11 年。后来斯玻勒又进一步发现黑子在日面上随时间变化的纬度分布具有一定的规律性。一般说来，一个周期的黑子刚出现时，都在日面纬度 30°附近。在黑子较多的时候，则在纬度 15°左右。周期结束时，黑子多半在低纬度地区出现和消失。上一个周期的黑子还没最后消失，下一个周期的黑子又在纬度 30°

附近出现了。另外，几乎所有的黑子都出现在纬度 8°～45°之间，极少有超过这个范围的。如果以黑子群的日面纬度平均值作纵坐标，时间为横坐标，绘出的黑子群日面纬度分布图，就像一群排列整齐的蝴蝶。

另外，人们还发现在黑子存在期间，它的磁场强度是随时间变化的。黑子刚出现时，磁场强度迅速上升到极大值，然后稳定一段时间，随着黑子的瓦解和消失，磁场强度呈线性衰减。黑子群中成对的那两个大黑子具有相反的极性。下一个活动周期中，如果太阳北半球上黑子对中的前导黑子的极性是"北"，那么后随黑子就是"南"，太阳南半球正与此相反。而到了下一个太阳周，两半球黑子对的极性将颠倒过来，在下一个活动周期中颠倒回去。根据黑子磁场的极性变化，海耳等人在 1919 年指出，太阳黑子和太阳活动的真正周期是 22 年。如何解释上面这些现象和规律，天文学家建立了不少黑子模型，1961 年，巴布科克提出的模型受到人们的普遍重视。

巴布科克认为，冻结在太阳等离子中的磁场，只存在于太阳表面下较浅的层次中，磁力线被太阳自转所带动。由于较差自转（太阳不同纬

度处的自转周期不同。赤道转得最快，越往两极越慢），使原来位于子午面上的磁力线缠绕起来。太阳内部和表面自转速率不同也会使磁场强度增大，光球下面的对流运动会使加强了的磁通量管扭结成绳子的形状，从而增大了磁力线密度。小尺度湍流使磁绳中出现扭结，致使小区域中的场强变得更大。当场强增大时，磁浮力也增大，磁场上浮涌出表面，形成双极黑子。黑子首先出现于纬度±30°附近的区域，是因为该处磁场的切变率最大。由于太阳内部自转得比表面快些，低纬处的场强增大而高纬处的场强下降，所以发生黑子的区域就移向赤道。这个模型既可说明蝴蝶图、黑子极性的分布、前导黑子的纬度比后随黑子的稍低等事实，又能解释22年周期中极性的反转现象。

一些天文学家认为，这个模型对于解释太阳磁场的所有较新的观测过于简单了，需要加以改进和发展。但另一些人则认为这个模型是不恰当的，太阳的磁场系统并不局限于表面的薄层中，而穿透得比太阳的对流层还深些。到底实际情形怎样，需要由观测来判断。

日震学研究

为了提炼和修改太阳黑子的形成和演化的

理论模式，太阳物理学家必须更多地了解太阳内部的结构和行为。太阳内部究竟是什么样子，我们既看不见，也摸不着。后来人们发现通过对太阳表面脉动的研究，可以推测出太阳内部的情况。这就好像研究地震波能够推测出地层深处的秘密一样。

本世纪60年代，美国天文学家莱顿等人，利用物理学上的多普勒效应，发现太阳大气的上下振动很有规律，其振动的周期是296±3秒，这就是著名的太阳“5分钟振荡”现象。进一步的观测还表明，气体物质上下起伏的总幅度达数十公里，而在水平方向上，大致在0.1～50万公里范围内的气体物质都联成一片，同起同落。并且在任何时刻，日面上都有2/3左右的区域在做这种振荡。

太阳5分钟振荡的发现引起了全世界天文学家的瞩目。相继的大量观测结果表明，太阳像一颗巨大的心脏，正在一缩一张地运动。70年代中，人们开始寻找低频率的太阳振动。1976年，前苏联天文学家发现了太阳的160分钟振荡。许多科学家认为，太阳内部产生振荡的因素可能有三种，即气体压力、重力和磁力。相应的波动则为驻声波、重力波和阿尔文波。有趣的

是，这三种波动有时可以两两结合起来，成为磁声波、声重力波和磁重力波。甚至可以三者统统混合起来，形成所谓的“磁声重力波”。所有这些波动叠合在一起，就会产生太阳表面振荡的一幅幅错综复杂的图像。

太阳振荡是近年来太阳物理学中最为重大的发现之一，为天文学家开拓出一条通往太阳迷宫深处的新途径。尽管日震学尚处于不成熟阶段，但这一新的学科已经导致了一些重要的发现，成为当代太阳物理学的前沿之一。

前不久，披露太阳内部奥秘的震波图样展示，尽管太阳外层的自转在赤道比在极区快，然而太阳内部的自转却是均匀的，这样就产生了一种剪切力，仿佛剪刀的两个刀刃相互移过一样。有人猜测这种效应会影响磁场，驱动太阳周期。但一些人对此持不同的意见。这一问题的正确答案还要靠日震学的进一步发展。

天文学家期待着日震学能够裁决这样一个新思想：黑子和耀斑可能是由对流所驱动的热物质的圆柱形的流动所引起的。相邻的圆柱，以相反的方向在 40 万公里深的太阳对流区内旋转，逐渐向赤道移动。一个设想是，像老式洗衣机中的旋轴一样，圆柱挤压磁场，在这一过程中

有效地产生黑子。

为连续进行日震学观测，美国自然科学基金会计划拨款给全球振荡网研究所，把环绕世界的6个日震站联系起来。这样一来，就可以整日不间断地进行日震观测了，全面的工作可望从1993年开始。另外，美国宇航局和欧洲空间局计划在90年代太阳活动峰年期间发射的人造卫星，也将投入太阳振荡的测量和研究。

扣开太阳之门

太阳能量探源

太阳，光焰夺目，温暖着人间。从古到今，太阳都以它巨大的光和热哺育着地球，从不间断。地球上的一切能量几乎都是直接或间接来源于太阳。例如，生物的生长，气候的变化，江河湖海的出现，煤和石油的形成……，哪一样也离不开太阳。可以说，没有太阳，就没有地球，也就没有人类。

太阳发出的总能量是大得惊人的。有人测量了地面上单位时间内来自太阳的能量。据测量，一个平方厘米的面积，在垂直于太阳光线的情况下，每一分钟接收到的太阳能量大约

是 1. 96 卡。换句话说，如果放上一立方厘米的水，让太阳光垂直照射，那么每过一分钟水的温度会升高 1. 96 度，也就是接近两度。这个每平方厘米每分钟 1.96 卡，就叫作“太阳常数”。

有了这个准确的“太阳常数”，我们就可以计算太阳发出的总能量了。我们知道，地球同太阳的距离大约是一亿五千万公里。1. 96 卡这个数是在离太阳一亿五千万公里外的地球上测到的。所以，只要把 1. 96 卡乘上以一亿五千万公里为半径的球的面积，就可以得出太阳发出的全部能量。这个数值是每分钟发出五千五百亿亿亿卡的能量，这个能量究竟有多大呢？我们可以打一个比方：如果从地球到太阳之间，架上一座三公里宽、三公里厚的冰桥，那么，太阳只要一秒种的功夫发出的能量，就可以把这个一亿五千万公里长的冰桥全部化成水，再过八秒钟，就可以把它全部化成蒸汽。

太阳尽管发出这么巨大的能量，但是落到地球上的却只有很少的一点点，因为太阳离地球太远了。实际上地球接收到的太阳能量，只占太阳发出的总能量的二十二亿分之一。正是这二十二亿分之一的太阳能量在养活着整个地球。

太阳是怎么发出这么巨大的能量来的呢？它是不是永远这样慷慨地供应地球，永远也消耗不尽呢？人类为了搞清楚这个问题，花费了几百年的时间，一直到今天，也还在不断地进行着探索。

日常生活告诉我们，一个物体要发出光和热，就要燃烧某种东西。人们最初也是这样去想象太阳的，认为太阳也是靠燃烧某种东西，发出了光和热。后来发现，即使用地球上最好的燃料去燃烧，也维持不了多长的时间。拿煤来说吧，假如太阳是由一个大煤块组成的，大概只要1500年就要烧光了。后来又想到可能是靠太阳本身不断地收缩来维持的。但是仔细一算，也维持不了多久。一直到本世纪的30年代以后，随着自然科学的不断发展，人们才逐渐揭开了太阳产能的秘密。太阳的确在燃烧着，太阳燃烧的物质不是别的，而是化学元素中最简单的元素——氢。不过，太阳上燃烧氢，不是通过和氧化合，而是另外一种方式，叫做热核反应。太阳上进行的热核反应，简单地说，是由四个氢原子核聚合成一个氦原子核。我们知道，原子是由原子核和围绕着原子核旋转的电子组成的。要想使原子核之间发生核反应，可不是一件容易的事

情。首先必须把原子核周围的电子全都打掉，然后再使原子核同原子核激烈地碰撞。但是，由于原子核都是带的正电，它们彼此之间是互相排斥的，距离越近，排斥力越强。因此，要想使原子核同原子核碰撞，就必须克服这种排斥力。为了克服这种排斥力，必须使原子核具有极高的速度。这就需要把温度提高，因为温度越高，原子核的运动速度才能越快。例如，要想使氢原子发生核反应，就需要具备几百万度的温度和很高的压力。这样高的温度在地面上是不容易产生的，但是对于太阳来说，它的核心温度高达一千多万度，条件是足够了。

太阳正是在这样的高温下进行着氢的热核反应。它把四个氢原子核通过热核反应合成一个氦原子核。在这种热核反应中，氢不断地被消耗，从这个意义上来说，太阳在燃烧着氢。但是它和通常所说的燃烧不同，它既不需要氧来助燃，燃烧后又完全变成了另外一种新的元素。

当四个氢原子核聚合成一个氦原子核的时候，我们会发现出现了质量的亏损，也就是一个氦原子核的质量要比四个氢原子核的质量少一些。那么，亏损的物质跑到哪里去了呢？原来，这些物质变成了光和热，也就是物质由普通的

形式变成了光的形式，转化成了能量。质量和能量之间的转换关系，可以用伟大的科学家爱因斯坦的相对论来解释。那就是能量等于质量乘上光速的平方，由于光速的数值很大，因此，这种转换的效率是非常高的。用这种方式燃烧一克氢，就可以产生一千五百亿卡的能量。它相当于燃烧150吨煤。太阳为了维持目前发射的总能量，每秒钟要有六亿五千七百万吨的氢聚合为氦。听起来，这是一个很大的数字，但是对于太阳来说却是微不足道的，因为太阳的质量实在太大了，比地球的质量要大33万多倍。而且太阳物质的化学组成和地球的很不一样，绝大部分正是太阳进行热核反应所需要的氢。氢占太阳质量的四分之三以上。其次是氢燃烧后生成的氦，占五分之一左右。再其次才是几十种其他的微量元素。因此，如果太阳按目前的速度燃烧氢，那么还足够燃烧五百多亿年呢！

人们在弄清楚了太阳的能量是怎样产生的以后，自然就联想到能不能把太阳上的这种产生能量的方式搬到地球上来呢？人们通过对原子和原子核的大量研究，终于利用热核反应的道理，制造出和太阳产生能量的方式一样的氢弹。氢弹的威力比原子弹还要大得多。不过，目

前人们还做不到把氢弹的能量很好地控制起来使用。如果有朝一日能够实现可以控制的稳定的热核反应，那么大量的海水中的氢就可以作为取之不尽的燃料。那时候，地球上再也用不着为能源问题发愁了。这样的设想并不是幻想，目前世界各国的科学家，包括我国的科学家在内，正在为实现这一宏伟目标进行着不懈的努力，并且已经取得了一些进展。

关于太阳的巨大能量是怎么产生的，我们已经简单说明了。有人也许会联想到太阳将来会怎么样呢？太阳和天上的所有恒星一样，也是一颗星球。任何一颗星球都有它的生、老、死亡的过程。据天文学家研究，太阳从诞生到现在，已经经过了大约50亿年，太阳的整个寿命大约是100亿年。所以，目前的太阳可以说正处在它的壮年期。壮年期的太阳就是依靠燃烧氢的热核反应来维持它的生命的。我们刚才讲到，太阳把全部氢烧光，太阳就会发生突变。太阳核心的温度会逐步升高，最后太阳会发生突然性地膨胀。那时候，地球表面上的温度会大大提高，可能要超过一千度以上。在这样的高温下，河流会晒干，生物会被晒焦，情况严重的话，膨胀的太阳甚至会把整个地球吞掉。不过，请你不要担

心，这幅可怕的情景是在50亿年以后才会发生的。到那时，人类的聪明智慧也许能用宇宙飞船把大家送到更适宜生存的星球上去了。

丰富多彩的太阳活动

太阳在不断地收缩

1976年，美国青年天文学家埃迪提出，平均11年周期并非是太阳活动的基本规律，从而引起至今还没有停息的激烈争论。一波未平，一波又起，1979年，他再次发表爆炸性意见：太阳在不断地收缩，每百年角直径缩小2.25角秒。

太阳圆面的角直径平均是1919.26角秒，照此说来，每百年太阳只缩小直径的850分之一，可说是很不显眼的一点。折合成米来计算的话，也就是每天太阳直径缩小4.5米弱。对于直径约139.2万公里的太阳来说，确实是微乎其微。

不过，这也不容忽视。日积月累的结果，问题就大了。如果照此下去，10万年后会怎么样呢？岂不是太阳会缩小到“消失”不见吗？这样的爆炸性意见自然会引起许多人的极大关注。

埃迪的说法也不是凭空而来的，他主要参考了英国格林尼治天文台的观测资料。根据该天文台1836～1953年共117年的太阳观测记录，他发现太阳的角直径并非固定不变，而是在不断地减小，并得出了每百年减小2.25角秒的结论。此外，他另有证据：

（1）美国海军天文台从1846年以来100多年间的观测资料，同样表明太阳在收缩；

（2）1567年4月9日曾发生过一次日环食，这是有历史记载可查的。可是，有人计算得出那本该是一次日全食。这是怎么回事呢？埃迪对此作了解释：1567年时的太阳要比现在的大一些，用现在的眼光和对太阳的认识来看到那时应发生日全食，而实际是日环食，就是这个道理。

相反的意见

埃迪主要依靠的那些格林尼治观测资料可信吗？这是许多人首先提到的。

1836年前后那个时代，位于伦敦东南方向的格林尼治天文台，离城市比较远，空气清新，透明度很好。此后的一个世纪里，伦敦城以越来越快的速度扩大，人口增加，烟雾增多，严重影

响观测，原来看起来明亮的太阳及其清晰的轮廓，也变得暗淡和模糊了。在这种情况下，觉得太阳似乎比过去小了些，这是完全可能的。顺便说一下，正是由于扩大了许多的伦敦城对天文观测的影响太大了，实在无法再容忍下去，建立已有200多年的格林尼治天文台，不得不于1948年搬迁到更南的苏塞克斯郡的赫斯特蒙苏城堡去，而仍旧沿用格林尼治天文台的名称。

再说，曾经对太阳作过精细观测的天文台远非三两个，负有盛名的德国哥廷根天文台就是其中之一。它于1756～1760年就用当时第一流的望远镜作过观测，这些宝贵资料一直很好地保存着。待到太阳是否在缩小的争论正热火朝天的时候，哥廷根天文台的工作人员再次拿来进行细致的归算，得到的结果是太阳角直径为1920.32角秒，误差估计最多不会超过上下各13角秒。也就是说，200多年来太阳的大小基本上没有变化。退一步说，这至少要比埃迪所说的100多年间的太阳小了2.25角秒的数值要小得多。

观测内行星凌日可以精确地推算出太阳的角直径。金星凌日和水星凌日按理都可以加以利用，但金星凌日的机会不多，上两次分别在

1874 年和 1882 年，而下两次将在 2004 年和 2012 年发生。水星凌日的机会较多，平均每世纪发生 13 次，从 1677 年的那次算起，到本世纪 80 年代末，总共发生过 42 次水星凌日，天文学家掌握着大量的观测资料。

水星凌日时，从地球上看起来，它就像个很小的黑点子在太阳面上缓慢地移动着，从太阳的一处边缘进入日面到从另一边退出日面，往往得花好几个小时。根据 300 多年的水星凌日精确记录，主要是它接触和离开日面的精确时刻，天文学家发现太阳的大小没有什么显著变化，要说有小小变化的话，那并非太阳的收缩，而是太阳角直径似乎增大了那么一点点。

不管怎么说，埃迪的论点并没有说服人，而其他人提出的反对理由强而有力，针锋相对。历史资料是如此。当代的资料也是如此，就在埃迪于 1979 年提出它的观点之后两年，即 1981 年 7 月，英国科学家帕克斯利用一次日全食的机会，进行了相关的观测，经过计算，他得出的太阳角直径为1919. 16角秒，比现在采用的数值小 0. 10 角秒左右，而比 200 多年前的数值大 0.10 角秒左右。这样的测量误差完全在允许范围之内。结论应该是：在最近两个多世纪中，太

阳的大小基本没有改变，至少没有像埃迪所说的改变得那么多。

日食作证

利用日食来验证太阳角直径的大小，是个聪明和简单易行的办法。日食时，月球影子投在地面上时形成一条窄而长的影子带，如果这是一次日全食，影子带被称做全食带，在全食带的人看到的是壮丽的日全食奇观；如果是一次日环食，就叫环食带。

全食带也好，环食带也好，如果能够把食带两个边的位置测得很准，准到误差不大于229米，由此反推出来的太阳角直径也将是非常准确的。实践表明，误差不大于229米的要求是比较容易办到的，测出的太阳角直径误差就不大于0. 12角秒。

几位科学家主要利用了本世纪70年代的两次日全食观测资料，这两次日全食分别发生在1976年10月23日和1979年2月27日。他们还参考了1715年5月3日日全食的历史记载，因为这次日全食的全食带刚好从英国人口密度很大的地区穿过，曾引起广泛的兴趣。许多目视观察者的叙述成为确定全食带边缘的可靠依据，而这些叙述和观测资料又经过著名天文学

家哈雷的整理和分析。一句话，历史记载是可信的、可靠的。

根据这三次相隔264年的日全食观测资料，得出的结果表明，其间太阳角直径缩小了0.68角秒，相当于每世纪0.26角秒，几乎只及埃迪数值的1/10。

1987年9月23日，在我国境内可以看到一次机会相当不错的日环食，上海天文台组织了两个观测小组，分别监测环食带的两处边缘。精心的观测以及后来将结果与美国海军天文台等一起合作归算，得出本次日食时的太阳直径改正数为－0.22角秒，比先前的一些观测要精确得多了。把它与1715年的资料相比，表明在1715～1987年的272年间，太阳直径缩小约820公里，即每天缩小约8米。尽管有关研究人员还不能对太阳直径缩小的真正原因提出有说服力的解释，很明显的是，这个数值只及埃迪数值的1/5还不到。

法国巴黎天文台太阳物理实验室的科学家们另有新说，他们在系统地分析历史资料的基础上，得出了太阳角直径过去大、后来小的结论。他们提出至少在1666～1683年的那10多年间，太阳直径比现在要大2.75角秒，后来才

逐步变小到现在这样。这个观点与埃迪观点有某些类似的地方，而且把时间往前推了一个半世纪。

总的说来，宇宙间的一切事物，当然也包括我们的太阳在内，都是在不断地变化和发展着的，不可能一成不变地老停留在同一个状态。从这个角度来说，太阳的持续变化是必然的，不变化则是不可能的。

不管太阳是胀、是缩，都是个至关重要的问题，都会关联到诸如太阳的构造、演化，太阳与其他天体的关系等方面，以及影响一系列地球物理过程和现象。至于像埃迪所说的，太阳以那么快的速度收缩，并且一直收缩下去，这种可能性看来是很小、很小。

太阳在不断地收缩吗？

目前，这个问题还是错综复杂，迷雾重重，难以下断语，还需要长时期地作深入细致的观测和探索工作。最后的结局将如何？现在还难以预料。

太阳在自转

太阳像其他天体一样，也在不停地绕轴自转，这在400年前是无人知道的。最早发现太阳自转的人是意大利科学家伽利略，他在观测和

记录黑子时，发现黑子的位置有变化，终于得出太阳在自转的结论。他给出的太阳自转周期为一个月不到。那是17世纪初的事。

太阳是个大气体球，它不可能像我们地球那样整个球一块儿自转，这是不难理解的。早在1853年，英国天文爱好者、年仅27岁的卡林顿开始对太阳黑子作系统的观测。他想知道黑子在太阳面上是怎样移动的，以及长期来都说太阳有自转但这自转周期究竟有多长。几年的观测使他发现，由于黑子在日面上的纬度不同，得出来的太阳自转周期也不尽相同。换句话说，太阳并不像固体那样自转，自转周期并不到处都一样，而是随着日面纬度的不同，自转周期有变化。这就是所谓的“较差自转”。

太阳自转方向与地球自转方向相同。太阳赤道部分的自转速度最快，自转周期最短，约25日，纬度40°处约27日，纬度75°处约33日。日面纬度17°处的太阳自转周期是25.38日，称做太阳自转的恒星周期，一般就以它作为太阳自转的平均周期。以上提到的周期长短，都是就太阳自身来说的。可是我们是在自转着和公转着的地球上观测黑子，相对于地球来说，所看到的太阳自转周期就不是25.38日，而是

27.275日。这就是太阳自转的会合周期。

如果我们连续许多天观测同一群太阳黑子，就会很容易地发现它每天都在太阳面上移动一点，位置一天比一天更偏西，转到了西面边缘之后就隐没不见了。如果这群黑子的寿命相当长，那么，经过10多天之后，它就会“按期”从日面东边缘出现。

除了由黑子位置变化来确定太阳自转周期之外，用光谱方法也可以。太阳自转时，它的东边缘老是朝着我们来，距离在不断减小，光波波长稍有减小，反映在它光谱里的是光谱谱线都向紫的方向移动，即所谓的“紫移”；西边缘在离我们而去，这部分太阳光谱线“红移”。

黑子很少出现在太阳赤道附近和日面纬度40°以上的地方，更不要说更高的纬度了，光谱法就成为科学家测定太阳自转的良好助手。光谱法得出的太阳自转周期是：赤道部分约26日，极区约37日。这比从黑子位置移动得出来的太阳自转周期要长一些，长约5%。

为什么呢？

一种解释是：黑子有磁场，并通过磁力线与内部联结在一起，内部自转得比表面快些，黑子周期就短些，而光谱得到的结果只代表太阳表

面的情况。这类问题的研究可以说现在只是才开头，其中的奥妙和真相还都说不清楚。

早在20世纪初，就有人发现太阳自转速度是有变化的，而且常有变化。1901～1902年观测到的太阳自转周期，与1903年得出的不完全一样。不久，有人更进一步发现，即使是在短短的几天之内，太阳自转速度的变化可以达到每秒0.15公里，这几乎是太阳自转平均速度的四千分之一，那是相当惊人的。

1970年，两位科学家在大量观测实践的基础上，得出了一个几乎有点使人不知所措的结论。通过精确的观测，他们发现太阳自转速度每天都在变化，这种变化既不是越转越快，周期越来越短，也不是越转越慢，周期越来越长，而似乎是在一个可能达到的极大速度与另一个可能达到的极小速度之间，来回变动着。

太阳自转速度为什么随时间而变化？有什么规律？这意味着什么？现在都还说不清楚，只能说是些有待研究和解决的谜。

空间技术的发展使得科学家们有可能着手观测和研究太阳外层大气的自转情况，主要是色球和日冕的自转情况。在日冕低纬度地区，色

球和日冕的自转速度，和我们肉眼看到的太阳表面层——光球来，基本一致。在高纬度地区，色球和日冕的自转速度明显加快，大于在它们下面的光球的自转速度。换句话说，太阳自转速度从赤道部分的快，变到两极区域的慢，这种情况在光球和大气低层比较明显，而在中层和上层变化不大，不那么明显。

这种捉摸不透的现象，自然是科学家们非常感兴趣、有待深入的课题。

树有根，水有源。认为产生太阳自转的各种现象的根源在其内部，即在光球以下、我们肉眼不能直接看到的太阳深处，这是有道理的。

日震可以为我们提供太阳内部的部分情况，这是一方面。更多的是进行推测，当然，这种推测并非毫无根据，而是有足够的可信程度。譬如：根据太阳所含的锂、铍等化学元素的多少来进行分析和推测；从赫罗图上太阳应占的位置来看，太阳是颗主序星，根据所有主序星的平均自转速度进行统计，来考虑和推测。

其结果怎么样呢？

不仅难以得到比较一致的意见，甚至还针锋相对：有的学者认为太阳内部的自转速度要

比表面快，快得多；另一些学者则认为表面自转速度比内部快。

一些人认为：太阳自转速度随深度而变化，我们在太阳表面上测得的速度，很可能还继续向内部延伸一段距离，譬如说大致相当于太阳半径的 1/3，即约 21 万公里。只是到了比这更深的地方，太阳自转速度才显著加快。

包括地球在内，许多天体并非正圆球体，而是扁椭球体，其赤道直径比两极方向的直径长些。用来表示天体扁平程度的“扁率”，与该天体的自转有关。地球的赤道直径约12756. 3公里，极直径约 12713. 5 公里，两者相差 42. 8 公里，扁率为 0. 0034，即约 1/300。九大行星中自转得最快的两颗行星是木星和土星，它们的扁率分别是 0. 0637 和 0. 102，用望远镜进行观测时，一眼就可以看出它们都显得那么扁。

太阳是个自转着的气体球，它应该有一定的扁率，本世纪 60 年代，美国科学家迪克正是从这样的角度提出了问题。根据迪克的理论，如果太阳内部自转速度相当快，其扁率有可能达到 4. 5/100000。太阳直径约 139. 2 万公里，如此扁率意味着太阳的赤道直径应该比极直径

大 60 多公里，对于太阳来说，这实在是微乎其微。可是，要想测出直径上的这种差异，异乎寻常地困难，高灵敏度的测量仪器也未必能达到所需要的精度。

为此，迪克等人作了超乎寻常的努力，进行了无与伦比的超精密测量，经过几年的努力，他得出的太阳扁率为十万分之 4.51±0.34，即在 4.85/100000 到 4.17/100000 之间，刚好是他所期望的数值。1967 年，迪克等人宣布自己的测量结果时，所引起的轰动是可想而知的。一些人赞叹迪克等人理论的正确和观测的精密，似乎更多的人持怀疑态度，他们有根有据地对迪克等人的观测精度表示相反意见，认为这是不可能的。

一些有经验的科学家重新做了论证太阳扁率的实验，配备了口径更大、更精密的仪器，采用了更严密的方法，选择了更有利的观测环境，所得到的结果是太阳扁率小于1/100000，只及迪克所要求的1/5 左右。结论是：太阳内部并不像迪克等人所想象的那样快速自转。退一步说，即使太阳赤道部分略为隆起而存在一定扁率的话，扁率的大小也是现在的仪器设备所无法探测到的。

企图在近期内从发现太阳的扁率，来论证太阳内核的快速自转，可能性不是很大。它将作为一个课题，长时间地反映在科学家们的工作中。不管最后结论太阳是否真是扁球状的，或者太阳确实无扁率可言，都将为科学家们建立太阳模型，特别是内部结构模型，提供非常重要的信息和依据。

至于为什么太阳自转得那么慢？为什么太阳各层的自转速度各不相同？一些自转速度变化的规律又怎么样？等等，都还是未知数。

太阳的振荡

“地震”这个名词，我们都是很熟悉的。“月震”，也并不太生疏，它是月壳的一种不稳定现象。1969年，美国“阿波罗11号”飞船的宇航员在月面上装置了第一台月震仪之后，记录到每天平均约有一次月震，而且都是很微弱的。

太阳有“日震”吗？有。日震极为复杂，规模宏伟壮观，景象惊心动魄，地震根本无法与之相比。日震最初是在1960年被美国天文学家莱顿发现的。他在研究太阳表面气体运动时，发现它们竟是像心脏那样来回跳动，气体从太阳面上快速垂直上升，随后再降落下来，一胀一缩地在振荡着。一些地方的气体急剧振荡几次之后，

好像跑得很急之后的喘口气那样缓和一段时间，接着又开始新的一轮振荡。这种振荡平均每5分钟（精确地说，应该是296±3秒）周期性地上下起伏重复一次，被称做“5分钟振荡”。

进一步的观测研究表明，在一次振荡中，气体上下起伏的范围可以达到好几十公里，这对于直径达139万多公里的太阳来说，自然算不了什么。使人惊讶的是，发生振荡的不是太阳面上的一小片区域，而是在成千上万、甚至好几十万平方公里的范围内，气体物质联成一片，好像在同一声口令下同起同落。并且在任何一个时刻，太阳面上都有约2/3左右的地方在作这种有规律的振荡。如此大面积的振荡真可以说是蔚为奇观，请你想一想，比地球大好几倍的一片火海，其上火舌瞬息万变，火“波”汹涌澎湃，一忽儿上升，一忽儿又很快下降，最生动的笔恐怕也难确切地描述其全貌。

5分钟振荡的发现是天文学、特别是太阳物理研究中的一件大事，有着划时代的意义。

我们知道，科学家对地震波进行研究之后，才得以了解地球内部结构，我们现在掌握的这方面知识，几乎都是这样得来的。太阳内部我们更是无法直接看到，而所谓的太阳振荡即日震，

它的发现无异于为科学家们送来了一具可“窃听”太阳内部深处的听诊器，各国科学家立即对之表现出巨大的兴趣。

譬如说：太阳大气层最靠里面的那一层叫光球，它也就是我们平常看到的太阳表面层。在光球下面的是对流层，这是很重要的一层，它起着承内启外的作用。可是，我们无法看到它。而根据对 5 分钟振荡的观测和有关理论，我们相信，对流层的厚度大体上是 20 万公里。当然，也有人认为对流层只是很薄的一层。

太阳的 5 分钟振荡一般被看作是太阳大气中的现象，那么，是否可能它也是周期更长的太阳整体振荡的组成部分呢？

从本世纪 70 年代开始，一些科学家设法寻找频率更低、周期更长的太阳整体振荡。1976 年，前苏联克里米亚天体物理天文台的科学家们在研究光球层时，发现太阳表面存在着一种重要的振荡，周期是 160 分钟，每次振荡太阳都增大约 10 公里，随后又恢复到原先的状态。

前苏联科学家的发现很快由美国斯坦福大学的一批研究人员予以证实。后来，人们从前苏联和美国的资料中，进一步得出更精确的周期

为 160. 01 分。不过，在相当一段时期里，有人怀疑太阳的 160 分钟振荡是否与地球大气抖动有关。法国和美国的一个联合观测小组，成功地在南极进行了长达 128 小时的连续观测之后，最终把怀疑排除了。地球北半球是冬季时，南半球是夏季，南极是极昼，即 24 小时太阳都在天空中，连续观测中就不存在大气周日活动的影响问题。以 160 分钟为周期的太阳整体振荡得到确认，它确实来自于太阳本身。

在研究 5 分钟振荡等的时候，科学家们出乎意料地发现，它们竟然还可以分解为上百个长短不等的小周期，短的只 3 分钟，长的有 3 小时。这些五花八门的小周期叠加在一起，真有点使人眼花缭乱，它们之间究竟有些什么内在的联系？或者这些错综复杂的小周期预示着什么？现在确实还无可奉告。

本世纪 60 年代，美国科学家迪克发现太阳并非是个圆气体球，它的两极略扁，赤道部分则略微凸起。1983 年，迪克本人的观测结果表明，太阳的形状并非固定不变，它的扁率发生周期振动，周期是 12. 64 天。

有意思的是，另一批美国科学家从水星的

运动中，也发现了太阳的振荡现象。1982 年，美国高空观测研究所等单位的研究人员，收集了从 18 世纪以来的、长达 265 年的水星绕太阳运动的资料，以及好几十组日食发生时间的数据。综合分析的结论是：太阳直径又胀又落，像是个一忽儿充满气，一忽儿又放掉了点气的大皮球，这种被他们称为“太阳颤抖”的振荡现象的周期，被定为 76 年，最大的变化率可以达到 0.8 角秒。

近些年来，有人从 44520 个太阳黑子数的分析中，得出其峰值有 12.07 天的周期。也有人从太阳自转速度随纬度高低而不同的所谓“较差自转”中，导出 16.7 天的周期。此外，还有人认为存在着好几个 7～50 分钟的周期；160～370 分钟周期范围内，也还存在着太阳整体振荡，等等。

日食记载也为此提供了新论据。一些科学家详细研究了 8 次日全食的资料，其中最早的一次是 1715 年 5 月 3 日在英国可见的日全食，最晚的一次发生在 1984 年 5 月 31 日。分析得出：269 年间，太阳直径有类似脉搏跳动那样的振动现象，周期不详，但总的说来变化不算大，只有 1.24 角秒，大致是太阳角直径的 1/1600。

研究和探测太阳内部结构是天文学家们长期的重要课题，也是很难顺利展开的课题。已经建立起来的理论和假说，有的未能通过实践的检验，有的显露出很大的缺陷，这类事情常有发生。正当科学家们一筹莫展、陷入重重困难的时候，日震被发现了，他们怎能不喜上眉梢呢！

在不算长的几十年时期内，日震学已显示出其强大的生命力，太阳的内部结构，各层次的温度、压力、密度、化学组成、自转和运动情况等等，无不通过太阳振动的研究而获得了大量前所未知的信息。说实在的，这些信息对于建立和完善已有理论，譬如黑子是怎么产生的、黑子周期的本质等，都是必不可少的。科学家们相信，日震与地震的某些性质应该或可能有相似之处，运用我们已掌握的对地震波的研究成果，再经过相当时间的观测和探索，我们一定会越来越深入地认识我们的这个太阳，再扩大一步来说，乃至其他恒星。

我们也不必讳言，到目前为止，太阳整体振荡为我们解决的问题只是初步的，还远没有它提出的问题那么多。太阳整体振荡是怎么产生的？从各种不同角度导出的种种周期与整体振荡是什么关系？各种周期之间又是什么关系？这

些都还是未知数。

如果把太阳振荡比作是一条走向探知太阳内部的康庄大道的话，那么，我们才刚踏上征程，大量的开拓工作还在后头。

千姿百态的日珥

光球的上界同极活泼的色球相接。由于地球大气中的水分子和尘埃粒子将强烈的太阳辐射散射成“蓝天”，色球完全淹没在蓝天之中。若不使用特殊仪器，色球是很难观察到的，直到20世纪，这一区域只有在日全食时才能看到。当月亮遮掩了光球明亮光辉的一瞬间，在太阳边缘处有一钩细如娥眉的明亮红光，仅持续几秒钟，这就是色球。色球层厚约8000千米。日常生活中，离热源越远的地方，温度就越低，然而太阳大气的情况却截然相反，光球顶部的温度差不多是4300℃，到了色球顶部温度竟高达几万度，再往上，到了低日冕区温度陡升到百万度。太阳物理学家对这种反常增温现象一直不能理解，到现在也没有找出确切的原因。

色球的突出特征是针状物，它们出现在日轮的边缘，像一根根细小的火舌，有时还腾起一束束细高而亮的火柱。19世纪的一位天文学家

形象地把色球表面比喻为“燃烧的草原”。针状物不断产生又不断消失，寿命一般只有10分钟。

在色球上我们还可以看到许多腾起的火焰，这就是天文学中所说的“日珥”。日珥的形态真可以说是千姿百态。有的像浮云，有的似喷泉，有的仿佛是一座拱桥，有的宛如一堵篱笆，而整体看来它们的形状恰恰似贴附在太阳边缘的耳环，由此得名为“日珥”。天文学家把日珥分为宁静日珥、活动日珥和爆发日珥。最为壮观的当属爆发日珥，本来宁静或活动的日珥，有时会突然“怒火冲天”，把气体物质拼命向上抛出，然后回转着返回太阳表面，形成一个环状，所以又称环状日珥。这种日珥是很罕见的并且也很重要。它的重要性在于它像铁屑提供磁铁周围的磁力线一样，提供了太阳大气中不可见的磁场存在的证据。

日珥的上升高度约几万公里，一般长约20万公里，个别的可达150万公里。日珥的亮度要比太阳光球层暗弱得多，所以平时不能用肉眼观测到它，只有在日全食时才能直接看到。

日珥是非常奇特的太阳活动现象，其温度在5000～8000K之间，大多数日珥物质升到一

定高度后，慢慢地降落到日面上，但也有一些日珥物质飘浮在温度高达 200 万 K 的日冕低层，既不坠落，也不瓦解，就像炉火熊熊的炼钢炉内居然有一块不化的冰一样奇怪，而且，日珥物质的密度比日冕高出 1000～10000 倍！两者居然能共存几个月，实在令人费解。

太阳的红脸膛

无论你是在平地上还是在山上，看到一轮鲜艳的红太阳从地平线上冉冉升起，壮观而又美丽的自然景象使人赏心悦目，印象深刻，久久难忘。

日出和日落时，看起来太阳红得可爱，当它升得很高时，就远没有那么红了。大家都明白，这不可能是太阳自己在那里一阵子“变”红脸，一阵子又变了别的什么颜色。是我们地球的大气在那里“变”了个小小魔术，把太阳装扮得更加漂亮了。

大气本身是没有颜色的，它用什么来为太阳“染”色呢？

“染料”是取之于太阳，而后又用之于太阳的。原来，太阳光并非是单色的，是由 7 种主要颜色组成，它们是：红、橙、黄、绿、青、蓝和

紫。如果你手上有个玻璃三棱镜，把它对着太阳，太阳光经过三棱镜就会“分解”成为一条由那 7 种颜色组成的光带。

大气也有这种把太阳光分解为 7 种颜色的本领，它靠的是漂浮在大气中的尘埃粒子、小水滴和气体分子等。夏天，雷雨过后，有时可以在天空中看到圆弧状的彩虹，它就是由大气中的尘埃等把太阳光折射后形成的。那 7 种颜色的“个性”都不一样，用科学术语来说，就是各自的波长不同，它们在空气中遇到前面讲的尘埃粒子等时，紫、青、蓝等最容易被挡住，或者被折射到另外的地方去，其次是绿和黄，橙和红的穿透本领最强。

早晨和傍晚的时候，太阳光是从侧面斜射到地面上来的，它比别的时候要穿过更厚的大气层，遇到尘埃粒子的可能性就更大，特别是这部分大气层如果比较混浊的话，那 7 种颜色的光中的大部分，都会先后被“挡驾”或被折射到别的地方去，于是只剩下黄和红、甚至主要是红色，穿过重重障碍、拨开云雾最后到达地面，“撞”在我们大家眼睛的视网膜上，于是，我们就看到了一个红得可爱的、红彤彤的红太阳。

我们完全可以根据上面说的，举一反三：在

烟雾弥漫、空气中尘埃等漂浮物比较多的地区，或者在大雾的日子里，太阳就显得红些；在空气清新的地区、海边等地，从那里看到的太阳就不那么红。

月亮也有这种“变”红的现象，道理是一样的。

神奇的太阳风效应

最近十年来，天文学上的重大发现之一就是，不仅确定了太阳的能源，而且也确定了太阳的电磁辐射。太阳跟原子反应堆一样，产生着高速原子核和电子微粒辐射，它以每秒500公里的高速奔离太阳的表面，几天后就能到达地球。它比声速快100多倍。然而，在几年前，人们对今天发现的这种太阳特性，还是完全陌生的。太阳这颗恒星对我们生存的意义，现在要重新认识。就今天判断的结论而言，从这个发现中便能得出，太阳对地球来说，是生命形成和发育的源泉，因为它向我们提供了无法得到的能量，又是那么慷慨无私，那么多。太阳使我们避免了从宇宙深处射来的致命影响，为了能对此有所了解，首先，我们必须熟悉太阳的粒子流或称之谓“太阳风”。它有着神奇的效应。

长期以来，人们就已知道，任何一种神秘莫测的古怪力量都是来自太阳。当彗星接近太阳时，这种力量在一定的场合下就会表现出来。

在很早以前，由于彗星或“扫帚星”的突然出现以及它们的奇特外观，人们总认为它们是天灾人祸的预兆。实际上，它们是一种较小的天体，直径为几百公里，最大者为几千公里，是一些较小的和冰冷物质的碎块所组成。它们在偏心率很大、异常长的椭圆形轨道上绕着太阳运转。根据对它们轨道的计算，得知有些彗星绕太阳一周需要几千年。当它们位于离太阳最远的地方时，与太阳的距离竟可达2～3光年！这一距离已达到太阳系与最近恒星的距离的一半。究竟与最近恒星的距离有多少还需要进一步研究，但地球的“宇航员”任何时候都能进入邻近的太阳系，因此，我们的太阳系与相邻的太阳系之间存在着一种直接的物质联系。有时在远日点，两相邻恒星的彗星轨道是相互交叉的。当彗星在近日点受到行星的引力影响，重新发生摄动，轨道变为不规则。因而，可以确切地认为，彗星轨道的远日点是会反复变换的，即一个恒星的彗星可以进入到相邻恒星的引力范围，并绕后者旋转。

假设这种思想进一步发展，并考虑到大多的彗星最后由于轨道摄动的增强，那么，彗星就有可能被行星捕获而致命。它们的平均寿命可能只有100万年，最后以“流星”或“陨星”的形式坠落到某颗行星上。由此可以认为，我们的地球不仅有来自太阳系的，而且还有来自我们的宇宙近邻——某个外太阳系上的物质。

这里，我们对彗星感兴趣完全出于另外的理由，就是彗星的指向究竟意味什么力起作用？

游散的彗星物质碎块一般是冷的，由于它们离我们很远，看不见。这种彗星物质在偏心的轨道上运行，迟早总要运行到太阳附近。当它们运行到太阳附近时，在太阳的影响下，可看到前所未有的惊人壮观。由于太阳的加热作用，从固体彗核中会逸出气体。从分光镜中可以看出，它们是一氧化碳和氮。这些气体以每秒钟1000公里的高速度离开彗核，在太阳光线的照射下开始发光。只有当彗星运行到近日点及其附近时，才能形成引人注目的彗尾。彗尾的长度可达一亿公里，甚至二亿公里。

很早以前，天文学家发现，彗尾的指向有一个共同特征：总是背向太阳。现在，人们自然相信，彗星后面总是拖着长长的尾巴。不过这仅仅

是从地球上所处环境的角度来推测的。宇宙空间是没有空气阻力的，究竟是什么力量使彗星有长尾巴呢？假如在一般情况下，彗尾的方向从表面上看是任意的，无规则的，难以预测的。然而，彗尾指向实际上是很有规律的，而且每一个彗尾的指向总是向太阳的。

人们可以看到彗星开始趋近太阳时，即它在轨道上的头一个位置时，后面已拖曳了一个尾巴。彗星在轨道每个位置上的尾巴指向都是背向太阳的。当彗星越过近日点后，尾巴由原来后面变为在前面顶推着。

长期以来，根据这些观测知道，任何斥力都来自太阳，它使彗尾在宇宙空间像风信旗一样。不久前，确实还不清楚这一现象是由什么力引起的，有人认为，它也许是太阳光的压力效应。很早以前，人们看到彗星尾巴总是背着太阳，由此联想到太阳是不是也有风，当然这种风不是空气而是物质粒子流。正式提出太阳风这么一个很形象化的名称是 20 世纪 50 年代的事。60 年代初，人造卫星和探测器在空间所进行的观测，不但证实了太阳风的存在，而且给出了太阳风的平均密度、速度等特征。从太阳风人们又联想到其他恒星是否也有“恒星风”。近年来，天

文学家确已发现一些年轻恒星正以类似太阳风的形式失去物质。

1973年天空实验室的发射，把空间太阳观测发展到空前的新时代。长期观测表明，太阳风是最依赖太阳活动的现象。当太阳赤道存在冕洞时，地球附近就观测到高速太阳风，因此天文学家认为冕洞是高速太阳风的重要源泉。

太阳风也是影响地球的重要现象之一。当太阳风向地球极区吹来时，便在地球两极电离层上绘出了美丽的图画——极光，特别是太阳黑子多的时候，极光更是频频出现，并向中纬度延伸。极光的形态千变万化，有时像一片飘逸的云浮在天空，有时像黄绿色的一段弧悬在天穹，犹如空中彩桥，也有时像天上悬下来的一块色彩绚丽的幕布，还有时像一盏巨大的霓虹灯，光彩夺目。19世纪后半叶，物理学家的实验证明，极光是地球周围的一种大规模放电过程。科学家对太阳风的认证进一步揭开了极光之谜：来自太阳的带电粒子到达地球附近，地球磁场迫使它们之中的一部分沿着磁力线集中到地球的南北磁极。当它们闯入极地的高层大气时，同时大气中的分子和原子碰撞，从而使大气中的分子和原子激发，产生出光辉，引起了极光。由空

间探测器获得的行星空间探测结果表明，极光现象并不局限于地球，太阳系内某些具有磁场的行星上也有极光。

太阳"风"在含义上的表达是最恰当的和直观的，因为，在一般的含义中，它显然与辐射无关，而与物质粒子的发射有关，这种粒子是很微小的，量级为原子级。显然，这里在字面上所指的是，从太阳吹向宇宙空间的风是一种极其稀薄的风，尽管具有很大的速度，但不能使地球上的旗帜飘扬起来。但是，它的力量足以飘起稀薄得几乎无重量的物体，如彗尾。现在可以肯定，彗星风信旗所指示的风是由质子和电子组成的太阳风。极光也是由太阳风引起的。这两种神奇的太阳风效应，经过人们上百年的探索才搞清楚。

太阳活动与旱涝

旱涝是重大的自然灾害之一。大范围与持久的旱涝，会给人类带来严重的损失。明代崇祯时，大旱连三年，赤地千里，饿殍遍野。1975 年 8 月河南南部特大暴雨，3 天的降雨量比过去全年的降雨量还大，以致大水冲垮几个大水库，淹了几个县，经济损失约有 5 亿元。

因此，人们早就在研究旱涝的规律与成因，以求能早作预报与预防。

旱涝的发生是有一定规律可寻的。有些具有明显的周期性，有些则是随机的。当然，这里说的周期，并不是严格的周期，而是准周期。比如，我国降水变化大约有30～40年的周期，而长江中下游地区的降水，平均周期为35年（35年为著名的布鲁克纳周期）。黄河流域的大干旱具有80～90年周期。渤海的严重冰情大约10年左右发生一次，等等。

我国的水文、气象学界十分重视对旱涝规律的研究。由于旱涝主要决定于气候演变，追根溯源，就是作气候演变规律的研究。我国悠久的历史上留下了丰富的水文、气象、物候的记事，为这方面的研究提供了宝贵的资料。这个优势是外国所不具备的。

研究表明，气候的若干周期与太阳活动周期有明显的对应关系。比如长江年径流量变化具有约22年周期，淮河有约10年周期，而西江、黄河、永定河与松花江流域有40年左右的周期。这些周期与太阳活动的基本周期颇为一致。

近500年来，我国东半部地区的干旱指数

具有2～3年、8～10年、22～26年的明显周期，这些周期跟太阳活动的几个周期很接近。

除了周期对应之外，太阳活动对气候的影响，即使在同一地区或同一流域，在不同的时期也是不一样的。比如在长江下游地区，太阳活动峰年与谷年附近，旱涝次数比其他年份要多。特别是，在峰年附近，涝的次数比旱的多；而在谷年附近，旱的次数比涝的多。如果就整个长江流域来说，也大致是这个情况。即在太阳活动峰年附近雨水多，易涝；在谷年附近雨水少，易旱。近500年来黄河流域的水旱情况，存在有“强湿弱干”的规律，也就是太阳活动强时，雨水较多；在太阳活动弱时，雨水较少。不过这种关系仍然很复杂，在太阳活动峰年时不一定有大水，而可能在活动峰年过后一二年才发生大水。

北京地区在近250年中，多雨的年份一般在太阳活动的谷年和峰年及其后一年，而少雨的年份则在谷年与峰年前一二年。

有人还研究了以耀斑爆发为主的太阳短期活动与天气的关系，也得到了许多有趣的结果。比如在四川盆地，太阳强耀斑后，常有多雨或大晴天天气出现，而在普通耀斑后，常出现比较异常的天气，如突然下冰雹等。

根据国内外的研究，太阳活动对大气、气候的影响是相当复杂的。同样是太阳峰年，有的地区是涝，而有的地区却是旱。这种差别的原因可能在于各地的自然地理条件不一样。

在研究太阳活动与大气、气候的关系时，人们也在探讨为什么有这种关系？究竟太阳是怎样影响天气、气候变化的？可是至今没有一个完满的答案。

大家知道，大气运动的主要动力是太阳辐射热（以“太阳常数”为代表）。如果太阳总辐射发生变化，就能引起大气环流的变化，导致某些地区发生干旱或洪涝。理论上估计，太阳常数变化1%，就会发生这种情况。可是，经过几十年的地面观测以及近年来通过人造卫星的观测，所得的结果都表明，太阳常数基本上保持不变。因此，这条路就被堵死了。

人们提出了几个间接的原因来说明太阳活动对气候的影响。有一个是“大气臭氧的屏蔽作用”的假说。在地面上空20～30公里的大气层中，臭氧的含量特别丰富，因而被称为“臭氧层”。臭氧能大量地吸收太阳的紫外线，使人类与生物免受太阳紫外线的辐射而遭到伤害，没有臭氧层的保护，包括人类在内的地球上的所

有生物就存在不了。

臭氧是由太阳紫外线辐射产生的。在紫外辐射强时，臭氧含量就多；在紫外辐射弱时，臭氧含量就少。所以，臭氧含量多少或臭氧层厚薄，跟太阳活动有直接的关系。在太阳活动峰年时，紫外辐射最强，臭氧含量达最大；在谷年时，臭氧含量最少。

臭氧层对紫外辐射进入低层大气和到达地面有明显的屏蔽作用。臭氧多时，进入低层大气和地面的能量减少，地面温度也因之有所降低；反之，则增高。这就会导致大气的反常变化。但是其中详细的机制等情况，仍然是不清楚的。更有人提出，全球臭氧含量与太阳活动关系是反相关的，即在太阳活动峰年时，臭氧含量反而达到最小。这方面的分歧是很大的，所以对于臭氧的屏蔽作用仍要进一步弄清。

近年来，由于大气电过程的观测与研究比较深入，所以有人提出“雷暴事件的触发”假说。地球大气中经常发生雷暴。雨云中带正电荷的部分与带负电荷的部分相遇，就发生雷鸣闪电，下起瓢泼大雨或暴雨。研究发现，雷暴事件与太阳活动有关系。太阳活动强时，耀斑比较多。耀斑产生的大量高能质子能穿到大气的低层（20

公里以下），触发雷暴的发生。观测发现，耀斑发生后4天，全世界范围的雷暴增强和欧洲雷暴事件的发生达到极大。

另外，宇宙线也能穿到大气低层，促使大气发生电离。宇宙线也是雷暴的源泉之一。地面宇宙线的强弱都受到太阳活动的调制，所以，雷暴事件与太阳活动是密切相关的。

但是，目前对于雷暴的过程，以及大气如何影响大气变化，导致旱涝，仍然没有研究清楚。不过，大多数科学家认为，太阳活动通过大气电的过程影响于天气，可能是一个较好的途径。

未来，在弄清了太阳活动与大气、气候的关系后，人们也许可能通过太阳活动来作比现在准确得多的天气预报。